CIRCULAR Nº 910

ALGUNAS RELACIONES ENTRE PLANTA, SUELO Y AGUA EN EL MANEJO DE CUENCAS

Por los Forestales:

Leon Lassen, Hoard W. Lull y Bernard Frank

DIVISION DE INFLUENCIAS FORESTALES
SERVICIO FORESTAL

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

NOTA.—Toda solicitud para ésta, o para cualesquiera otras publicaciones del Centro Regional de Ayuda Técnica (RTAC), deberán dirigirse a la Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.), a cargo de la Embajada de los Estados Unidos de América, en el país de residencia del solicitante. Las solicitudes por carta pueden dirigirse así:

Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.)
c/o Embajada de los EE.UU. de A.
(Capital y país de residencia del solicitante)

Circular No. 910

ALGUNAS RELACIONES ENTRE PLANTA, SUELO Y AGUA EN EL MANEJO DE CUENCAS

Por los Forestales:

Leon Lassen, Howard W. Lull y Bernard Frank

DIVISION DE INFLUENCIAS FORESTALES

SERVICIO FORESTAL



CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA

AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (A. I. D.)

MEXICO

Primera edición en español, 1963



IMPRENTA Y OFFSET

Imprenta Venecia, S. A. Independencia 40-2 México 1, D. F.

NOTA A ESTA EDICION

Esta publicación es traducción de

SOME PLANT-SOIL-WATER RELATIONS IN WATERSHED MANAGEMENT

editado originalmente en inglés por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, como Circular No. 910. La presente edición en español la preparó el Centro Regional de Ayuda Técnica (RTAC), Agencia para el Desarrollo Internacional (A.I.D.), Departamento de Estado estadunidense. El Centro se creó especialmente para coordinar la producción de versiones en español del material técnico y de adiestramiento de los programas de cooperación técnica de la Alianza para el Progreso en los países de habla española.

CONTENIDO

ALGUNAS RELACIONES ENTRE PLANTA, SUELO Y AGUA EN EL MANEJO DE CUENCAS

OBJETO

Esta publicación ha sido preparada como respuesta a la necesidad creciente de los administradores de tierras, ingenieros, hidrólogos y otras personas idóneas, para una información más adecuada sobre cómo funcionan las cuencas de bosques y pastizales, y cómo el tratamiento de la tierra, por el hombre, afecta las funciones de la cuenca. Pretende reunir los conocimientos técnicos disponibles sobre los principios naturales más importantes, que parecen regir las relaciones recíprocas entre plantas, suelo y agua. También proporciona medios para valorar los efectos de las condiciones de una tierra determinada, regímenes y usos sobre el comportamiento de una corriente de agua.

Las explicaciones e ilustracionees ayudarán a suministrar guía útil a aquellos técnicos y administradores que están interesados en la protección, restauración, mejoramiento o manejo de tierras de cuencas, dondequiera que éstas se encuentren.

INTRODUCCION

Las estrechas relaciones entre la tierra y el agua, y los efectos del manejo de la tierra sobre la naturaleza y calidad de una corriente de agua, han sido reconocidas, y hasta cierto grado apreciadas, desde tiempos tan remotos como los días de la antigua Grecia. Con el transcurso del tiempo, y especialmente desde el desarrollo en amplia escala de nuestra moderna civilización industrial, la necesidad constantemente creciente para el control y conservación de nuestro suelo, agua y otros recursos vitales relativos, han acrecentado el interés del hombre en cuanto a los efectos del uso de la tierra en las inundaciones, carestía de agua y sus problemas concomitantes. Aparte de esto, han surgido los principios de la conservación moderna de la tierra y, más recientemente, el concepto del manejo de la cuenca, que tiene, como objetivo principal, la aplicación de estos principios al drenaje de las cuencas.

Este amplio objetivo es generalmente admisible, y pocas personas difieren en que tal manejo sea necesario. Sin embargo, pocos entienden las complejas relaciones entre planta, suelo y agua, tanto físicas como biológicas, que la sustentan. Esta publicación describe algunas de estas relaciones e indica la significación práctica, con especial referencia a la protección y manejo de bosques, montes y pastizales en el interés de su óptimo servicio, a la larga, para las generaciones presentes y futuras.

Los porqué de los efectos más significativos de la cubierta vegetal y de las prácticas de cultivo del suelo y agua, serán especialmente puestos de relieve.

Los autores consideran que dicho contacto es esencial porque, aunque la investigación anterior ha enfatizado —y por cierto en forma ventajosa— a qué grado la cubierta vegetal y el cultivo afectan el comportamiento del suelo y agua, se han descuidado en gran parte los "porqué". Como resultado, la mayoría de las investigaciones realizadas han sido aplicadas solamente a las pequeñas porciones de terreno o a otras áreas limitadas, en las cuales tuvieron lugar las investigaciones. Esta situación, a su vez, ha conducido a una duplicación innecesaria del trabajo de investigación en un esfuerzo por ampliar las superficies de aplicación. También, algunas investigaciones, a causa de que se basaron en un conocimiento inadecuado de los complicados procesos fundamentales, han producido resultados que han parecido contradictorios a los obtenidos de estudios previos.

El manejo práctico de la cuenca se realizará solamente al grado que descanse sobre un concienzudo entendimiento de los procesos naturales fundamentales que rigen el comportamiento del suelo, plantas y agua. Afortunadamente, el progreso obtenido en los campos relacionados con el suelo y la fisiología de la planta, entre otros, y en el campo de las relaciones entre planta, suelo y agua, en conjunto, ha proporcionado algún conocimiento profundo en estos procesos.

Las complejas relaciones internas entre plantas, suelo y agua, según han sido modificadas por la actividad humana, implican la acción recíproca simultánea de muchos factores y procesos. Para fácil presentación, ha sido necesario dividir estos en clasificaciones ficticias sobre la materia de que se trata. Dicha separación representa tan sólo un plan conveniente para examinar las diferencias, así como las semejanzas entre los diversos factores y procesos, de manera que la significación relativa de cada uno, y sus impactos entre sí, puedan ser aquilatados más adecuadamente. En realidad, en la naturaleza no existe tal división. Los diversos procesos por discutirse, tales como, la evaporación, transpiración, infiltración, percolación u otros factores, como la profundidad del suelo o la profundidad de la raíz, cantidad de materia orgánica del suelo, prácticas de corte, todas se combinan unas con otras como los colores en un espectro.

El reconocimiento de esta combinación, de los procesos y factores que gobiernan las relaciones entre planta, suelo y agua, es vital para el entendimiento y aplicación de los principios y prácticas del manejo de la cuenca. Es necesario tener esto presente para evitar el error de buscar o querer contar con soluciones sobre un factor único para los problemas de la cuenca, no importando cuán simples puedan parecer los problemas o soluciones.

Las partes que siguen, se refieren a la relación entre el manejo de la cuenca y la corriente de agua; la función del suelo respecto al almacenamiento de agua; el efecto de la evaporación y la transpiración sobre el espacio de almacenamiento disponible en el suelo; el movimiento del agua dentro y a través del suelo, y finalmente, la aplicación de estas relaciones fundamentales a la práctica propiamente dicha en el manejo de una cuenca.

Esta publicación abarca solamente unos cuantos de los más importantes factores que rigen las relaciones entre planta, suelo y agua. Muchos son omitidos, o se les ha dado únicamente tratamiento sumario. Por ejemplo, poca importancia se le ha dado a la biótica del suelo; a la influencia de la sucesión de las plantas, o a la interceptación de la precipitación. También, a causa de que la atención se concentra en las relaciones del agua, la erosión como un proceso y los aspectos del control de la erosión en el manejo de la cuenca, no reciben atención directa. Aunque estos factores no son discutidos específicamente, no pueden y no deben, ser pasados por alto al considerar los problemas específicos en el manejo de cuencas.

Los ejemplos y referencias en este tratado, se aplican ampliamente a los bosques y pastizales. Esto es así por varias razones; en toda la nación, estas tierras cubren la mayor parte de nuestras cuencas, reciben casi toda la precipitación y producen el mayor escurrimiento; algunas de las realizaciones más significativas en las relaciones entre la planta, suelo y agua han surgido de las investigaciones efectuadas en los bosques y pastizales; también el material ilustrativo proveniente de estas fuentes es bien conocido de los autores. Sin embargo, a causa de su naturaleza fundamental, las relaciones entre planta, suelo y agua descritas aquí, se aplican igualmente a las tierras agrícolas. Así la vegetación de cultivos y herbajes, influyen en las corrientes de agua y en el movimiento y almacenamiento de la misma, casi de la misma manera lo hace la vegetación de bosques y pastizales.

EL SIGNIFICADO DEL MANEJO DE CUENCAS

El objetivo del manejo de la cuenca, es hacer frente a los problemas del uso de la tierra y el agua, no en términos de cualquier recurso, sino sobre la base de que todos estos recursos dependen uno del otro, y deben por consiguiente, considerarse todos juntos. El desagüe completo del valle o cuenca se presta por sí mismo, admirablemente a esta consideración. Como una unidad natural refleja las acciones recíprocas entre el suelo, factores geológicos, agua y vegetación, proporcionándonos un resultado de efecto común: escurrimiento o corriente de agua, por medio del cual los efectos netos de estas acciones recíprocas sobre este resultado, pueden ser apreciadas y valoradas.

La corriente de agua, en sus diferentes aspectos, representa un criterio reconocido de las condiciones de las cuencas y también de la eficiencia del manejo de la misma. Proporciona índices útiles de los resultados netos de las prácticas de conservación, incluyendo cantidad de escurrimiento total anual, regularidad estacional, frecuencias, y descargas extremas de alta y baja —tales como inundaciones máximas y corrientes mínimas— y calidad de las mismas.

La solidez técnica relativa a la planeación y desarrollo de las cuencas de los ríos, como unidades, es ahora generalmente aceptada. Puesto que el manejo de una cuenca se apoya en el principio de que la corriente de agua es un producto de la tierra, esto lo considera mucha gente como un requisito capital de un tipo de desarrollo de cuenca de ríos, en el cual las medidas relativas a su conservación se aplicarán conjuntamente, o todavía mejor, con anticipación a los trabajos de ingeniería, para el control de las inundaciones, fuerza hidroeléctrica, navegación o irrigación. Esta conjunción de conservación de tierras y trabajos de ingeniería puede, por ejemplo, prolongar la vida de muchos depósitos de agua, por la reducción de la sedimentación, suministrar agua de mejor calidad para usos municipales e industriales, reducir las descargas de agua abundantes peligrosas y proporcionar muchos otros beneficios.

USO DE LA TIERRA Y CORRIENTE DE AGUA

Una premisa básica del manejo de la cuenca, es que la cantidad y velocidad de la corriente de agua, representan las características naturales y de cultivo y las condiciones de la cuenca que la origina. Gráficamente, estas características se expresan en el hidrógrafo, el cual representa las velocidades de una corriente de agua que pasa por la estación de aforo, en un periodo determinado de tiempo (línea llena, figura 1). Cuatro factores afectan el volumen y la velocidad del escurrimiento, y consecuentemente la forma de la gráfica dada por el hidrógrafo: la precipitación (clase, cantidad, intensidad

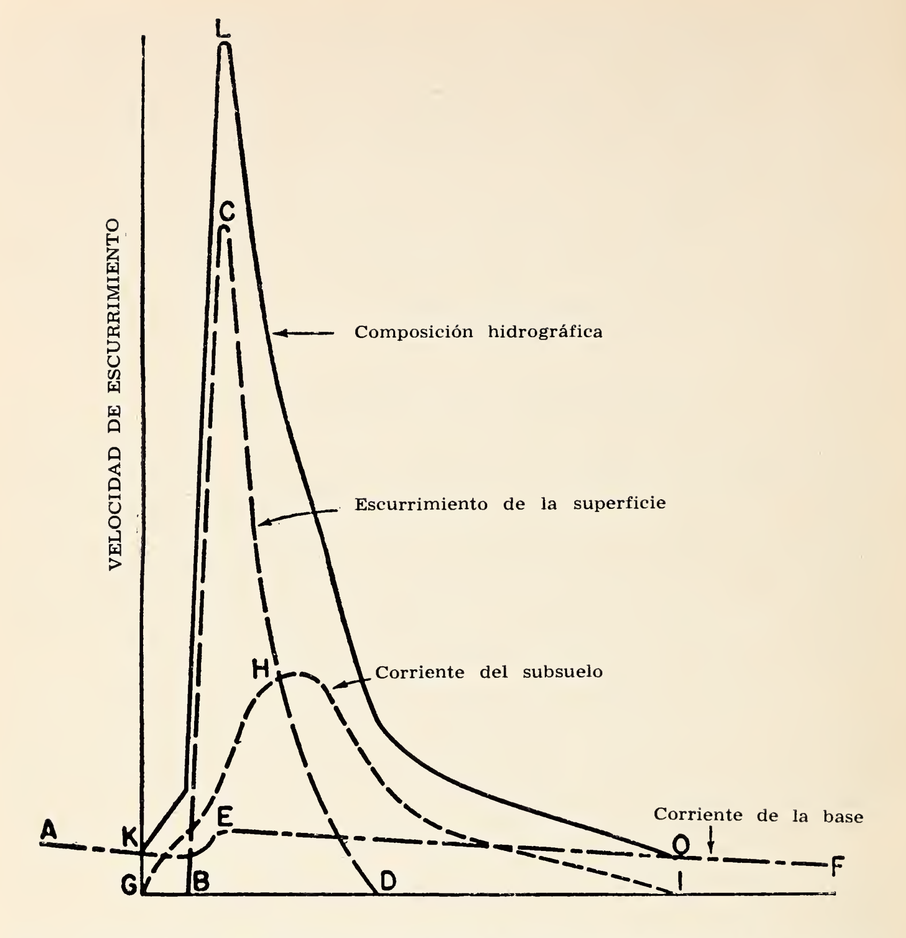


Fig. 1.—Diagrama hidrográfico de una corriente de agua, con las partes que lo componen, reflejando los efectos de una precipitación

y distribución); características del desagüe de la cuenca (incluyendo, capacidad, forma de la cuenca, longitud y pendiente de los taludes y densidad de la corriente); el suelo y su cubierta vegetal; y los cambios que se efectúan en el suelo y la cubierta vegetal mediante el uso de la tierra. Hasta donde sabemos ahora, el suelo con su cubierta es el único factor sujeto a modificación por el hombre. El efecto de los cambios en la cubierta vegetal del suelo, puede representarse en la mente estudiando la gráfica dada por el hidrógrafo de corriente de agua.

La figura 1, nos muestra una composición hidrográfica que representa una descarga típica de corriente de agua, resultante de una tormenta de gran intensidad, que produjo el escurrimiento de la superficie. La gráfica en el hidrógrafo compuesto, representada por la línea llena, de hecho es dibujada por la pluma del registrador de corriente de agua. Las líneas quebradas, en la figura, no son en realidad registradas por la pluma en el diagrama, más bien son obtenidas por técnicas establecidas provenientes de análisis hidrográficos, para representar las diversas fuentes de las corrientes, las cuales se combinan para integrar la corriente de agua que pasa por el aforador.

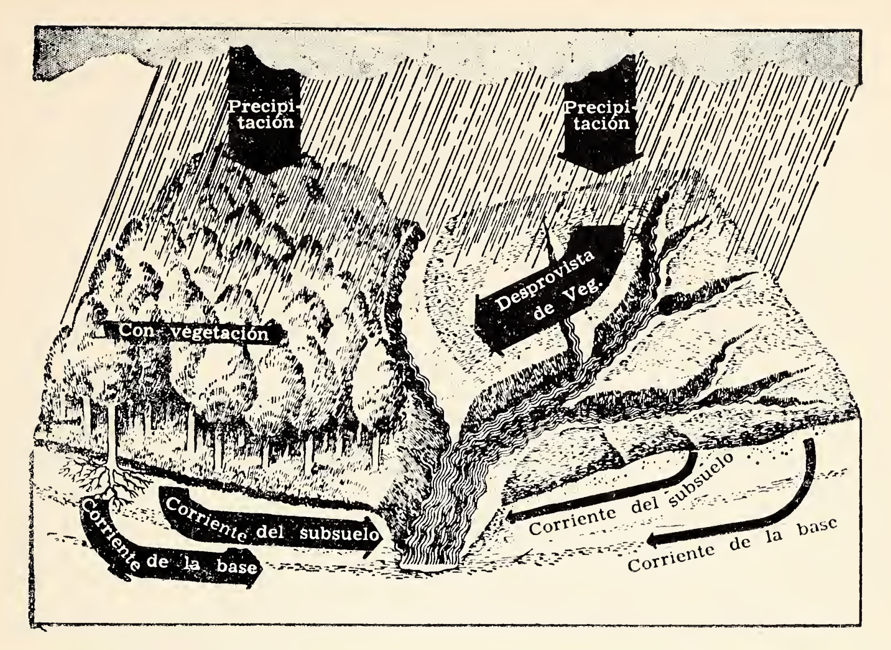


Fig. 2.—Distribución de la precipitación sobre áreas con vegetación y desnudas dentro del escurrimiento superficial, la corriente del subsuelo y la corriente de la base. La anchura de las flechas indican la cantidad relativa de cada componente

Cómo el uso del bosque y los pastizales afectan la corriente de agua, puede representarse en la mente por la descomposición del diagrama hidrográfico, en las partes que lo componen y analizando la relación que existe entre cada parte y la índole del suelo al ser modificado por la condición y uso de su cubierta vegetal. Con el fin de ayudar a demostrar estas relaciones deberá hacerse referencia frecuente a la figura 1, y a la ilustración correspondiente al dispositivo de precipitación que se muestra en la figura 2.

La línea llena en la parte superior de la figura 1, representa la descarga total de agua que pasa por el aforador de corriente de agua. Esta descarga proviene de tres fuentes: corriente de la base, escurrimiento de la superficie y corriente del subsuelo. Obsérvese, que en cualquier momento la suma de las corrientes, de la base, del subsuelo y de la superficie, equivalen a la descarga total, formada por la línea K-L-O.

La corriente de la base (línea A-E-F, en las figuras 1 y 2) proviene de los depósitos subterráneos, los cuales son la fuente de agua para las corrientes durante los periodos de sequía. Este tipo de escurrimiento reacciona a la precipitación, mucho más lentamente que las otras dos fuentes. Una segunda fuente es el escurrimiento de la superficie representado por la línea B-C-D, y que se muestra también en la figura 2. Esta agua corre sobre la superficie del suelo. Por esta razón, los escurrimientos de la superficie son muy sensibles a la intensidad y cantidad de la precipitación La velocidad máxima, como queda señalada en la gráfica del hidrógrafo (C), coincide en tiempo, y puede aproximarse mucho a la velocidad máxima del escurrimiento total. Por lo general, la velocidad asciende rápidamente a su máximo, durante, o a poco de la parte más intensa de una tormenta. El descenso subsecuente es un poco menos rápido.

La corriente del subsuelo es el tercer componente y se ilustra por la línea G-H-I, figura 1 y figura 2. Está formada por el agua acumulada transitoriamente en el suelo, en partes poco profundas (por lo general, a menos de 24 pulgadas) sobre una capa más o menos impermeable. Como el agua se acumula sobre esta capa, bajará por el talud a través de los poros del suelo hacia el cauce de la corriente de agua. La corriente del subsuelo no es tan sensible a la precipitación como lo es el escurrimiento superficial. Aunque para volúmenes iguales de escurrimiento, su velocidad máxima será notablemente más baja que la correspondiente al escurrimiento de la superficie, por ser éste más prolongado.

La forma de las gráficas del hidrógrafo de cada componente de la corriente de agua, indica el tiempo que necesita el agua para alcanzar al cauce. Por eso, el escurrimiento de la superficie, como se muestra en la figura 2, toma el camino más rápido hacia sus cauces, frecuentemente a través de arroyuelos y cárcavas antiguas o recién creadas sobre la superficie. La corriente del subsuelo se mueve más lentamente en su camino hacia su cauce definitivo. Sin embargo, a menudo, este tipo de escurrimiento es interceptado por las cárcavas o barrancas, antes de alcanzar su cauce, y entonces es cedido rápidamente al escurrimiento superficial. La corriente de la base tiene el movimiento más lento. Una vez en el cauce el agua proveniente de todas las fuentes se mueve hacia el cauce relativamente rápida. Pero la velocidad del movimiento de cada tipo de corriente determina cuando alcanzará el cauce, y por consiguiente la forma que tendrá la gráfica en el hidrógrafo.

Además de los efectos de la vegetación sobre la interceptación de la nieve y la lluvia, la cantidad de precipitación quc va hacia la corriente de la base, el escurrimiento de la superficie y la corriente del subsuelo, respectivamente, se determina en gran parte por las características físicas del suelo. Como será demostrado posteriormente, estas características físicas se afectan por la naturaleza de la vegetación que el suelo sustenta. Por esta razón, cualesquiera de las prácticas que modifiquen la naturaleza de la vegetación, a su vez, ocasionarán cambios en las características físicas del suelo y en consecuencia en la corriente de agua.

Las características físicas del suelo definen sus características hidrológicas; especialmente la infiltración —velocidad a la que se mueve el agua dentro del suelo; percolación-velocidad a la que se mueve el agua hacia abajo, a través del suelo, y capacidad de almacenamiento. Estos factores a su vez, determinan las proporciones de las tres corrientes de agua componentes. Cuando las velocidades de infiltración y percolación y las capacidades de almacenamiento del agua por el suelo son altas, el escurrimiento inmediato, procedente de una tormenta determinada, será bajo, pues la cantidad del escurrimiento de la superficie será pequeña. Bajo estas condiciones, la precipitación de la tormenta se moverá dentro del suelo. Ahí, parte de ella puede ser almacenada, una parte puede ir al escurrimiento de la superficie, y aún otra parte puede moverse hacia abajo para formar la corriente de la base. Estos son los caminos lentos hacia el cauce de la corriente. Contrariamente, en el caso extremo de velocidades bajas de infiltración con pequeño almacenamiento, el escurrimiento de la superficie dará cuenta de la mayor parte de la precipitación, con un consiguiente incremento notable en las velocidades máximas de la corriente de agua.

Un ejemplo de los efectos del uso de la tierra sobre las corrientes de agua, se muestran en la figura 3.[1] Las gráficas en el hidrógrafo provenientes de dos de las distintas cuencas experimentales en el Laboratorio Hidrológico de

---

[1] Datos inéditos, Laboratorio Hidrológico de Coweeta, 1950. Servicio Forestal Experimental.

Coweeta, en Carolina del Norte, ilustran los cambios que se efectuaron con respecto a los cultivos en la montaña. Las cuencas atendidas y controladas cubren una superficie de 23 y 39 acres respectivamente.

La corriente de agua en las cuencas de referencia, se midió por el término de 6 años, antes de su tratamiento, con el fin de definir las características de escurrimiento. El arbolado fue cortado a matarasa en 1939-40. Seis acres y media se sembraron de maíz y se cultivaron de acuerdo con las prácticas locales. Doce de las 17 acres restantes, fueron sometidas a pastoreo. Cinco acres se encontraron demasiado escabrosas para usos agrícolas. Los efectos sobre la

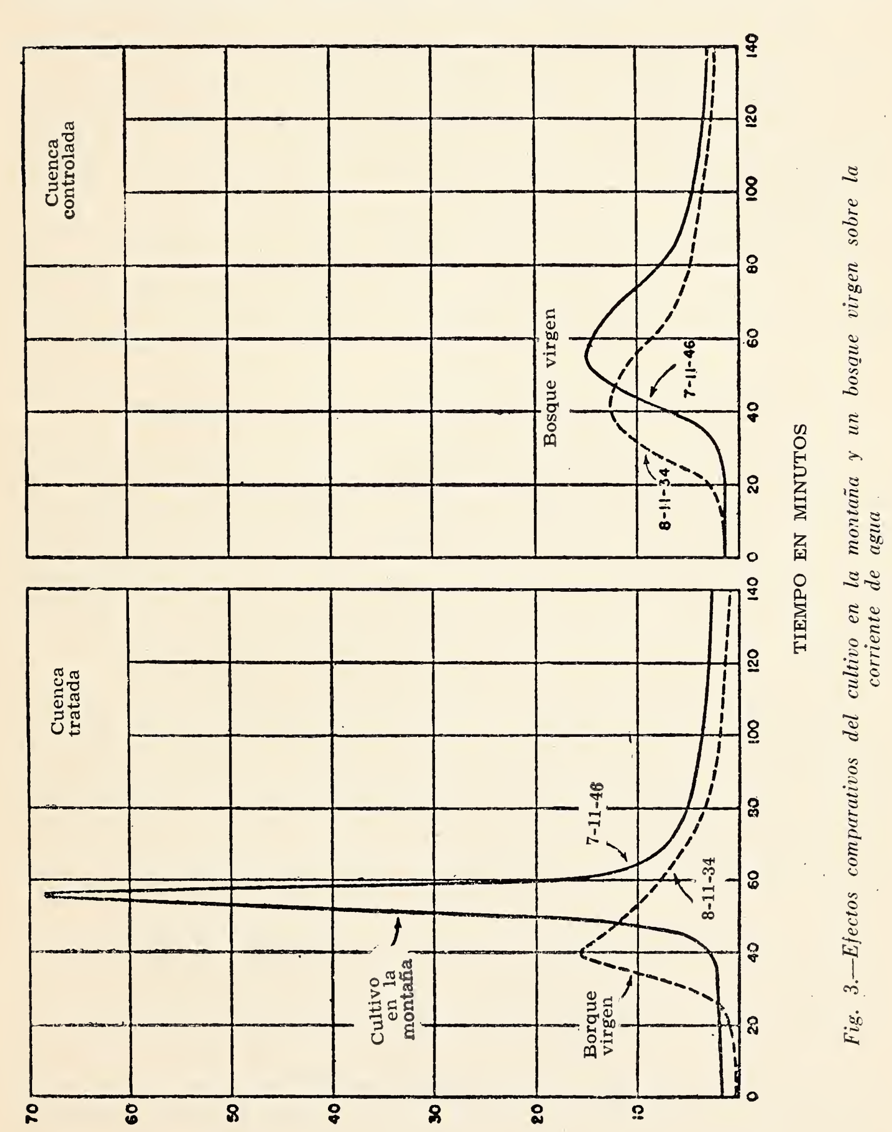


Fig. 3.—Efectos comparativos del cultivo en la montaña y un bosque virgen sobre la corriente de agua

corriente de agua se muestran por medio de una comparación de dos precipitaciones de casi la misma intensidad, una ocurrida antes de ser tratada la cuenca en 1934, la otra, posterior al tratamiento en el año de 1946. La gráfica en el hidrógrafo, correspondiente a la cuenca de control, muestra pequeña diferencia en las corrientes de agua de las dos precipitaciones. Las descargas máximas de agua fueron 12 y 15 pies cúbicos por segundo por milla cuadrada.

Las gráficas procedentes de las cuencas atendidas, nos revelan datos absolutamente diferentes. Mientras que la tormenta de 1934 produjo una descarga máxima de 16 pies cúbicos por segundo, por milla,^{2} la de 1946 produjo cerca de 69 pies cúbicos por segundo, por milla.^{2} La diferencia se debió casi por completo a un incremento en el escurrimiento de la superficie, como se demuestra por los análisis de las gráficas del hidrógrafo.

El ejemplo anterior se aplica solamente a los efectos resultantes de una tormenta determinada, sobre las velocidades de la corriente de agua. Los efectos del tratamiento de la cuenca sobre la cantidad de agua producida no se toman en cuenta aquí. Como se muestra, el manejo de la cuenca puede influir también sobre este factor.

Como ha quedado indicado anteriormente, las causas de la variación en la corriente de agua, provenientes del tratamiento de la tierra, deben ser observadas en las propiedades fundamentales y en las acciones recíprocas entre las plantas, suelo y agua. Con respecto a esto, la función del suelo, considerándolo como un depósito de abastecimiento, deberá considerarse en primer lugar.

EL SUELO COMO UN DEPOSITO DE ABASTECIMIENTO

Para los efectos del manejo de cuencas, puede definirse el suelo como la porción de material rocoso expuesto a los cambios atmosféricos, el cual está sujeto a los cambios de humedad de las distintas estaciones del año y está ocupado, o tiene capacidad para serlo, por las raíces. Los efectos del uso de la tierra sobre las características hidrológicas del suelo son más pronunciadas en esta zona. Consiste de una especie de armazón porosa formada de partículas minerales y materia orgánica y espacios porosos que están ocupados por el aire y el agua.

Los suelos no son estáticos, son dinámicos, en el sentido de que continuamente están cambiando de color, profundidad y estructura, como respuesta a la actividad de los organismos vivos: como raíces, animales de madriguera, micro-flora y micro-fauna. Se hinchan con la adición de agua; pueden contraerse y resquebrajarse al secarse. Las heladas los expanden. Se deslizan hacia abajo por los taludes empinados. Hasta los suelos más estables se mueven lentamente hacia abajo de las vertientes. Por medio de la erosión acelerada tienen un movimiento más rápido, y más rápido todavía con el agua corriente o el viento.

El material mineral del suelo, resulta de la intemperización del material rocoso mediante procesos físicos y químicos, a velocidades regidas en mayor grado por el medio ambiente climático y biológico. Estos procesos de formación del suelo, están continuamente efectuándose y, a menos que tengan lugar mayores cambios en el medio ambiente, la intemperización de las rocas subyacentes (material matriz) profundiza gradualmente la masa del suelo. Este es un proceso muy lento. Acompañando este proceso existen otros, tales como la erosión geológica y la lixiviación, los cuales impiden la formación de una situación estática, respecto del material afectado por la intemperización. La efectividad de todos estos diversos procesos disminuye con la profundidad hasta el punto de desaparecer.

No todos los suelos se forman en el lugar de origen. Al contrario, la mayor parte de la tierra de la superficie tiene su origen en sedimentos desprendidos o residuos de rocas que han sido transportados por el viento, el agua o simplemente por la gravedad. Los segregados mecánicos, de los cuales dependen estos materiales transportados y vueltos a depositar, son en verdad los productos de la intemperización, y están sujetos todavía a otras alteraciones en su nuevo lugar donde radican.

Donde quiera que un suelo sustenta vegetación, este es enriquecido hasta cierto grado por materia orgánica. Las raíces de las plantas se mezclan estrechamente con las partículas minerales, mueren, se descomponen y se incorporan al suelo. En la superficie de la tierra la caída periódica de hojas muertas, madera en descomposición, ramas secas y árboles caídos, junto con restos de animales, agregan materia orgánica, la cual con el tiempo se convierte también en parte del suelo. Estas agregaciones aumentan el volumen del suelo, profundizándolo más rápidamente que el proceso de intemperización. Un clásico ejemplo lo constituye la formación de puras capas orgánicas de varias pulgadas de grueso directamente sobre la roca desnuda. Estas funcionan hidrológicamente tanto como lo hacen los suelos minerales. Como se mostrará adelante, la materia orgánica tiene muchos efectos significativos sobre el movimiento del agua y su almacenamiento en el suelo.

Los efectos del uso de la tierra y la vegetación sobre el suelo, se reflejan principalmente en los cambios en la estructura, número, tamaño, forma y consistencia de los agregados. A su vez, estos cambios afectan el tamaño, forma y distribución de los poros del suelo. Estos poros proporcionan el espacio adecuado para el almacenamiento del agua, y sirven también como vías para el movimiento de la misma. Variando mucho en tamaño y forma, integran aproximadamente la mitad del volumen del suelo. Las partículas minerales y orgánicas, contenidas en la otra mitad del volumen, en efecto sirven como un armazón para los poros. Las diferencias en tamaño y forma de los poros determinan la cantidad de agua que pueden retener y la velocidad del movimiento a través de estos.

SIGNIFICADO HIDROLOGICO DE LA COMPOSICION DEL SUELO

La disposición del esqueleto mineral, de la materia orgánica y de los espacios de los poros, varía considerablemente dentro, y entre los suelos. Dentro de la zona ocupada por la raíz —como se puede observar en el corte reciente de un tajo o en la cuneta de un camino, el suelo, por lo general, revela determinado perfil caracterizado por diversas capas u horizontes que difieren una de otra, en color, textura, estructura y consistencia. Las propiedades particulares de estas capas se obtienen como un resultado de la distinta alteración motivada por la intemperización, de los materiales originales. Además, estos mismos materiales originales pueden estar formados de diversas capas de sedimentos con características diferentes, como en el caso de depósitos estratificados de acarreo. Estas diversas capas, ya sea que se produzcan en el mismo lugar por intemperización, o que provengan de la estratificación del material original, interesan a los hidrólogos, porque afectan el movimiento y almacenamiento del agua.

La profundidad del suelo es una característica hidrológica extremadamente importante, porque afecta entre otras cosas, la capacidad de almacenamiento del mismo. En igualdad de circunstancias, un suelo de 6 pies de profundidad, puede contener el doble de agua que uno de 3 pies de hondo. En verdad, la capacidad de almacenamiento del suelo depende de muchos otros factores,

además de la profundidad, por ejemplo, de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, profundidad de las raíces, entre otros. Sin embargo, la profundidad debe ser reconocida como un importante factor, frecuentemente limitante en el almacenamiento del agua por el suelo.

Respecto a la capacidad de almacenamiento la profundidad hidrológica de un suelo, puede ser completamente diferente de su profundidad lineal. Hablando hidrológicamente, un suelo "superficial" puede considerarse como uno con capacidad de almacenamiento limitada, aunque tenga varios pies de profundidad. Un suelo superficial puede considerarse que tiene una capacidad de almacenamiento de retención para el agua, de menos de 3 pulgadas. Tal suelo puede variar en su profundidad desde un pie, aproximadamente, para un terreno de migajón arcilloso a 6 pies para uno formado de arena fina.

La capa superior del suelo bajo un bosque de madera dura, sin explotar, está formado de pura materia orgánica (gran cantidad de hojas sin descomponerse y ramas muertas), variando, generalmente, su profundidad entre una y casi seis pulgadas. La capa subyacente es obscura, de una a varias pulgadas de profundidad, compuesta de una mezcla de materia orgánica en descomposición y partículas minerales. El contenido orgánico puede ser hasta de un 20% en peso, y casi de 100% en volumen. Como regla general tales suelos son muy permeables. Debajo de estas capas orgánicas, están una o más capas formadas por partículas minerales, desde varios centímetros a varios metros de profundidad, más o menos permeables a las raíces y agua, y con un contenido de materia orgánica que disminuye rápidamente con la profundidad.

En contraste, las capas superficiales de los suelos cultivados comúnmente carecen de materia orgánica. La capa superior, a la profundidad de la raíz, puede contener pequeñas cantidades de materia orgánica, quizá de 3 a 10 por ciento, en peso, en las 3 a 4 pulgadas de encima, y menos de 3 por ciento a profundidades más bajas. Algunos suelos cultivados pueden desarrollar, a la profundidad afectada por el arado, una capa tan delgada, como para oponerse, tanto a la penetración de la raíz como al movimiento del agua.

La materia orgánica viviente y "muerta" del suelo, es sumamente compleja. En tamaño fluctúa desde la bacteria microscópica hasta las marmotas de madriguera. Las raíces tienen una gran influencia. Pueden ejercer una presión de más de 75 libras por pulgada cuadrada, suficiente para levantar banquetas o romper rocas (*29*).[2] Atraviesan el suelo fragmentando las masas. Levantan cantidad notable de lugares. Testimonio común de su tamaño es la elevación del anillo de las raíces de los árboles arriba de la superficie circundante.

Las oquedades que dejan las raíces muertas, afectan significativamente el movimiento del agua. Son muy permeables, puesto que generalmente se llenan con una mezcla de materia orgánica y partículas minerales, que han entrado poco a poco de las capas superiores. En suelos relativamente impermeables, proporcionan las rutas principales del movimiento del agua y su almacenamiento temporal. (Almacenamiento de retención temporal.)

EL SUELO COMO CEDAZO Y DEPOSITO

Hidrológicamente, el suelo es un agente cuya función es retener el agua o conducirla hasta la corriente de agua. En estas condiciones se le puede comparar a una serie de cedazos. Cuando se vierte agua en un cedazo doméstico ordinario, ésta lo atraviesa fácilmente, quedando en sus mallas sólo una pequeña cantidad de agua. Cuando varios cedazos se colocan unos dentro de

---

[2] Los números itálicos, dentro de paréntesis, se refieren a la literatura citada.

otros, y se les vierte agua, ésta todavía los atraviesa rápidamente, pero un poco menos que en el ejemplo anterior. También retiene mayor cantidad de agua en los bordes de las mallas. Al repetirse la operación con cedazos de mallas de diferente medida, se encontrará que, cuanto mayor es la medida de la malla, tanto más aprisa los atravesará el agua, y menor cantidad de la misma quedará en las mallas.

Puede decirse, de un modo muy general, que las series de cedazos representan al suelo. A mayor número de cedazos mayor profundidad del suelo, y a mayor tamaño de las mallas (poros), más poroso será el mismo. Cuando el agua se vierte a través de un cedazo con la malla más pequeña (poros), ésta controlará la velocidad a que lo atraviesa el agua de la misma manera que la última capa de un suelo permeable, determina finalmente la velocidad a la cual se mueve el agua a través de varios horizontes.

La semejanza anterior ilustra dos procesos que tienen lugar en el suelo: almacenamiento de agua (la cantidad de agua que se adhiere a las paredes de la malla), y el movimiento del agua. Sin embargo, presenta solamente un aspecto del almacenamiento, es decir almacenamiento capilar o de "retención" (agua que es retenida por el suelo). Este término se refiere al agua que contienen las partículas del suelo contra la fuerza de la gravedad. Esta agua también se mueve, pero tan lentamente que para los fines prácticos, se considera como de acumulación. El agua en almacenamiento de retención, es aprovechable por la vegetación y la evaporación. Esta agua no es utilizable por la corriente de agua.

Los poros no capilares, o poros grandes del suelo proporcionan otra clase de almacenamiento. En este caso el agua se mueve hacia abajo, en virtud de la fuerza de la gravedad, a través de poros cuyo diámetro es mayor que 0.05 mm. A causa de que esta agua es retenida solo temporalmente, generalmente se le menciona como agua en almacenamiento de retención temporal. Esta es el agua aprovechable por las corrientes.

La diferencia entre el almacenamiento de retención temporal y el almacenamiento de retención propiamente dicho, puede ilustrarse por medio de una segunda analogía, o sea: el almacenamiento de agua en un depósito artificial. Cuando este depósito está completamente lleno, tanto que el agua permanece al mismo nivel que el orificio de salida o desagüe, puede considerarse que tiene su capacidad de almacenamiento de retención satisfecha. Durante una lluvia intensa el agua adicional se almacena en el depósito, pero sólo de una manera temporal, esto es únicamente por el tiempo que tarda el nivel del agua en volver a la altura del vertedero. Durante este periodo, el agua adicional ha permanecido en almacenamiento de retención temporal. Los suelos operan de una manera similar. Los pequeños poros suministran una capacidad de almacenamiento de retención, mientras que los poros más grandes proporcionan solamente almacenamiento temporal, tan sólo reteniendo el agua hasta que esta fluya fuera del suelo.

El agua retenida en almacenamiento en los depósitos del suelo, se elimina por medio de la evaporación y la transpiración (extracción de la humedad del suelo, o las raíces de las plantas y su posterior evaporación a través de las hojas y otras partes de las plantas). Modificando la cantidad de agua almacenada en el suelo en un momento determinado, estos procesos por consiguiente, influyen en la cantidad de espacio de almacenamiento disponible (oportunidad para almacenar agua). Tomando en cuenta que la transpiración es más importante que la evaporación, porque elimina el agua más rápidamente y generalmente a mayores profundidades, la cantidad de almacenamiento disponible en cualquier tiempo es afectada por los cambios en la transpiración, debido a los efectos del uso de la tierra sobre la vegetación. Además, como se demostrará,

la vegetación influye también en la capacidad del almacenamiento de retención temporal del suelo, así como también en la velocidad a que el agua se mueve a través del mismo. Estas relaciones recíprocas, bastante complejas, entre las plantas, suelo y agua pueden comprenderse mejor, tomando en cuenta sólo una relación y sus fuerzas correspondientes. Primeramente le daremos atención al almacenamiento de retención.

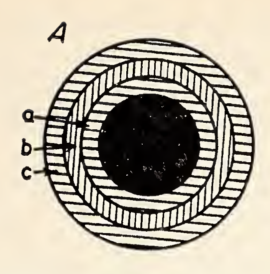
ALMACENAMIENTO DE RETENCION. COMO ES CONTENIDA EL AGUA EN EL SUELO

El agua es retenida en el suelo por la adherencia de la humedad a la superficie de las partículas del suelo. Esta propiedad, que poseen prácticamente todos los sólidos, de absorber la humedad del suelo en sus superficies, es bien conocida, y se aplica a muchos usos. El "irrómetro" que se usa para apreciar el peligro de incendio en el medio ambiente de los bosques, es un ejemplo. Otro es el uso de la gel silicosa para secar las atmósferas húmedas de los sótanos y armarios y para mantener la sequedad en las piezas de maquinaria empacadas.

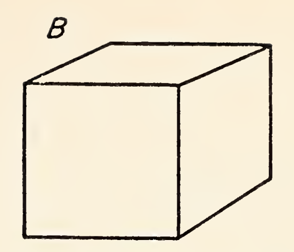
La atracción molecular entre las moléculas semejantes y diferentes, mantiene el agua pegada a la superficie de una partícula de suelo. La fuerza con la que el agua es retenida, disminuye con la distancia, que hay de la molécula de agua a la superficie de la partícula. En la figura 4, A, el disco negro representa una partícula de suelo; los otros discos representan sucesivamente, películas de humedad alrededor de la partícula. La película más interna (a) se mantiene unida estrechamente a la partícula. Se necesitaría una fuerza bastante grande para separar la humedad de la partícula. La segunda película (b), no se mantiene tan estrechamente pegada, y la tercera (c), aún menos. A causa de que estas películas se adhieren a las partículas contra la fuerza de la gravedad, las fuerzas de retención deben ser mayores que la fuerza de la gravedad. Sin embargo, en algún punto la película se engruesa bastante, tanto que la fuerza de retención casi iguala a la fuerza de la gravedad. La cantidad de agua adsorbida en este punto se llama "capacidad de campo" del suelo.

Puesto que la adsorción de la humedad es un fenómeno de la superficie, la humedad total adsorbida por alguna partícula, con cualquier fuerza adsorbente, es directamente proporcional a la extensión de la superficie de la partícula. Por lo tanto, el área de la superficie de las partículas del suelo llega a ser un importante factor en el almacenamiento del agua. Otro factor afín importante, es que el área de la superficie de un volumen unitario de partículas del suelo, aumentará de acuerdo con el número de partículas incrementadas. Por ejemplo, la figura 4, B, muestra que un cubo de un centímetro tiene una área superficial total de 6 centímetros cuadrados; si el cubo se parte en dos porciones, (fig. 4, C) el área de la superficie queda aumentada a 8 centímetros cuadrados. Si la subdivisión se continúa, tanto que se formen cubos de 0.0001 centímetro de dimensión (casi el tamaño de las partículas de arcilla fina) el área de la superficie total sería de 60.000 centímetros cuadrados (5). El incremento en superficie, que proporciona un mayor espacio para la adsorción, aumenta la cantidad de agua que puede ser adsorbida. Esto se aplica cualquiera que sea el valor de la fuerza de adsorción; esto es, con el incremento del área de la superficie, el volumen del agua almacenada por las partículas del suelo, aumentará para todos los límites de la fuerza de adsorción, hasta el punto en que se alcanza la capacidad de campo.

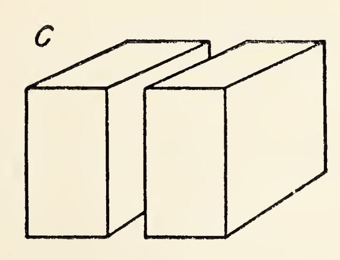
Puesto que la distribución del número y tamaño de las partículas del suelo, en un volumen unitario, determina la textura del mismo, esta textura



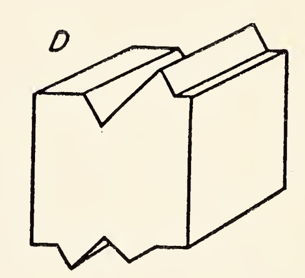
Películas de humedad imaginarias.
Disco negro — partícula de suelo
a, b, c, — Películas de humedad sucesivas



Area de la superficie de un centímetro cúbico = 6 cm. cuadrados.



Area de la superficie de un centímetro cúbico partido en dos = a 8 cm. cuadrados.



Area de la superficie de un cubo se incrementa por sus irregularidades.

Fig. 4.—Película de agua sobre una partícula de suelo, y la relación del tamaño y la forma de la partícula con el área de la superficie

define la cantidad del área de la superficie y, ésta a su vez la capacidad de retención del agua. Las diferencias en la capacidad de retención del agua, se indican en la tabulación siguiente que se refiere al número y área de la superficie de la arena, limo y arcilla, en una pulgada cúbica de suelo, con 50% de espacios porosos.

Textura	*Diámetro de la esfera (mm.)*	*Número de partículas*	*Area de la superficie pies* ^{2}
Arena gruesa	1.0	1.56×10^{4}	0.53
Arena muy fina . . .	.1	1.56×10^{7}	5.29
Limo	0.1	1.56×10^{10}	53.05
Arcilla	.001	1.56×10^{13}	530.49

Por lo tanto, se da por sentado, que las partículas de suelo están muy lejos de tener superficies lisas. Bajo las condiciones ordinarias, las superficies son detenidas; por esto, la superficie de adsorción es mucho mayor. Por ejemplo, si el cubo de la figura 4, B, tuviera irregularidades en la superficie, como se muestra en la figura 4, D, el área de su superficie, podría ser notablemente mayor.

Las capacidades de almacenamiento de retención de suelos de diversas clases de textura, son como sigue: (2)

Clase de textura	*Capacidad de almacenamiento de retención. (Profundidad del agua en pulgadas, por cada pie de profundidad del suelo).*
Arena fina	0.5
Migajón arenoso	1.7
Migajón limoso	2.5
Migajón	3.3
Arcilla	4.5

La arcilla puede retener, contra la fuerza de la gravedad, nueve veces más agua que la arena fina. A medida que las clases de textura, se acercan a la que posee la arcilla, las diferencias disminuyen.

COMO AFECTA LA MATERIA ORGANICA EL ALMACENAMIENTO DE RETENCION

El almacenamiento de retención, se afecta no solamente por la textura, sino también por la cantidad de materia orgánica. El efecto de la materia orgánica es aumentar la capacidad del almacenamiento de las partículas del suelo, e incrementar el volumen total del mismo.

La materia orgánica tiene alta capacidad de adsorción. En la forma coloidal admite tanta agua como 4.4 veces su propio peso (27). Cuando se descompone y se mezcla en el suelo, cubre las partículas minerales con una substancia porosa, parecida a la gelatina y altamente adsorbente. Este material, adherido a las partículas, aumenta el área de su superficie, y por lo tanto su poder de almacenamiento.

La incorporación, dentro del suelo, de la materia orgánica descompuesta puede incrementar o reducir la capacidad de almacenamiento de retención, por unidad de volumen de suelo, dependiendo esto del contenido de materia orgánica. Cuando se agrega al suelo, cantidades pequeñas de materia orgánica, la cubierta orgánica en las partículas del mismo, puede no ser suficiente para cambiar apreciablemente su volumen, tanto que el número de partículas por unidad de volumen permanece el mismo, mientras que el área de la superficie aumenta por razón de la cubierta orgánica. En estas condiciones, la capacidad de almacenamiento de retención, por unidad de volumen podría aumentar. En estos términos, un estudio de la Estación Experimental de Bosques del Nor-Este, muestra una pequeña relación entre el peso específico y el contenido de materia orgánica, cuando este contenido orgánico es aproximadamente de 5% o menos (3). Esto indica que el número de partículas del suelo por unidad de volumen no ha cambiado. Sin embargo, en realidad el incremento de materia orgánica aumentará el peso específico, aunque el peso considerado posiblemente es sumamente pequeño para dar una relación definida entre el peso específico y el contenido orgánico.

El mismo estudio muestra también, que cuando el contenido de materia orgánica, aumenta arriba del 5%, el peso específico disminuye constantemente, indicando que hay menos partículas de suelo por unidad de volumen. En estas

---

[3] Datos originales usados en la preparación del Boletín de Extensión No. 39. Efecto del Suelo y las Condiciones de la Cubierta, sobre las Relaciones entre el Suelo y el agua. 1951. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Estación Experimental de Bosques del Nor-ESTE.

condiciones, indudablemene, ocurre un desplazamiento de partículas, porque el revestimiento de materia orgánica. aumenta el volumen de las partículas individuales. Con menor número de partículas por unidad de volumen, menos superficie está disponible para la adsorción del agua. En consecuencia, aun cuando la capacidad de almacenamiento de la partícula individual aumenta, la capacidad por unidad de volumen de suelo, puede reducirse. Por eso, los suelos compactos, y los suelos con un bajo contenido de materia orgánica, a causa que tienen más partículas de suelo por unidad de volumen, frecuentemente pueden tener una capacidad de almacenamiento de retención mayor, por unidad de volumen, que los suelos de tipo similar, pero que tienen un contenido de ma teria orgánica más alto. Por ejemplo, Hoover (23) informa de una capacidad de almacenamiento de retención de 7.93 pulgadas, en las 24 pulgadas de encima del suelo de un bosque virgen de maderas duras; bajo un campo antiguo en un macizo de Pinus taeda, un suelo similar tenía una capacidad de almacenamiento de retención de 8.54 pulgadas. El arbolado de maderas duras tenía un humus de tipo Mul (tipo de capa humífera de bosque formada de materia orgánica y mineral, tan mezclada que la transición a la capa subyacente no está bien definida), incorporado al suelo mineral, con un contenido orgánico relativamente alto; un húmus de tipo Mor (capa humífera de bosque formada por material orgánico no incorporado, generalmente compacto o enzarzado, o ambas cosas, distintamente separado del suelo mineral). Con poca incorporación de materia orgánica dentro del suelo se desarrolló debajo del arbolado de pino.

Con la adición e incorporación de materia orgánica, el suelo se dilata. A causa de que la oportunidad para la expansión es principalmente hacia arriba, el suelo se profundizará. Concomitante está un incremento de la capacidad de almacenamiento de retención, para la profundidad afectada por la materia orgánica.

Un ejemplo del acrecentamiento de la profundidad del suelo, proveniente de las adiciones de materia orgánica, nos lo proporciona los siguientes datos comparativos, para los suelos de dos regiones boscosas adyacentes, arbolados pastoreados y sin pastorear.[4] Todos los porcentajes se dan sobre una base de volumen y se refieren a la profundidad del húmus.

	Pastoreada	*Sin pastorear*
Profundidad del húmus	2 pulgadas	4 pulgadas
Contenido de materia orgánica . . .	5 %	20 %
Espacio total poroso	51 %	63 %
Capacidad de campo	37 %	38 %

Los arbolados sin pastorear, en un tiempo también fueron pastoreados, pero su suelo se desarrolló notablemente después de un período de protección. La pregunta por contestarse es: ¿Cuánto más profundo es su suelo por causa de la mayor profundidad del húmus? ¿También, cuánta fue la capacidad de almacenamiento incrementada por este aumento en la profundidad?

En vista de que la capa humífera está formada de materia orgánica, espacios porosos y partículas minerales, es fácil determinar el volumen del suelo mineral, conocidos los otros dos componentes. Este volumen alcanza a 4-4 (0.20 + 0.63) = 0.68 pulgadas, el volumen equivalente de las partículas minerales distribuidas en todas partes de la capa humífera de 4 pulgadas. Estas partículas son extraídas del suelo mineral.

Correspondientemente, la capa humífera, de 2 pulgadas del suelo sometido a pastoreo, contiene un volumen de partículas minerales equivalente a 0.88 pulgada. A razón de 0.88 pulgada de partículas minerales para dos pulgadas de húmus, la profundidad del húmus en la superficie protegida, mientras estaba siendo pastoreada fue 0.68/0.88 X 2 o sea 1.55 pulgada. Puesto que bajo protección, la profundidad del húmus es de 4 pulgadas, el incremento en la profundídad podría ser 4.0-1.55 o sea 2.45 pulgadas. El incremento resultante en el espacio de almacenamiento de retención, es por lo tanto de, 2.45 X 0.38 = 0.93 pulgada.

De esta manera, la profundidad del suelo puede incrementarse por la incorporación de materia orgánica en la capa de encima, y por la adición de materia orgánica a la capa superior del suelo, así como por la intemperización del fondo, y en un tiempo mucho más corto. El aumento en la profundidad del suelo, por la descomposición de la materia original, es un proceso relativamente lento. Por otra parte, la capacidad de almacenamiento de los incrementos citados no iguala al del húmus.

INFLUENCIA DE LA VEGETACION SOBRE LA OPORTUNIDAD DEL ALMACENAMIENTO DE RETENCION

Como ha quedado expuesto, la vegetación afecta la cantidad de agua que puede almacenarse en el suelo, mediante la influencia de la materia orgánica sobre la capacidad de almacenamiento de las partículas del suelo y sobre la profundidad del mismo. Una segunda manera como contribuye la vegetación, consiste en la extracción del agua de su almacenamiento por medio de la transpiración. En cualquier momento la oportunidad para el almacenamiento de retención en el suelo, depende no sólo de su capacidad de retención para el agua, sino también de la cantidad que de ésta se encuentra ya almacenada. El valor de la oportunidad de almacenamiento de retención, en un momento determinado, es la diferencia entre la capacidad de campo del suelo y su contenido de humedad. La influencia de la vegetación sobre el contenido de humedad del suelo, proporciona la base para evaluar su efecto sobre el almacenamiento de retención.

El agua se extrae del almacenamiento de retención por medio de la evaporación y la transpiración. Aunque a menudo estos procesos se consideran como uno solo, las notables diferencias en la forma y el grado en que afectan el contenido de humedad del suelo, obligan a que sean considerados separadamente.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EVAPORACION

La extracción de la humedad del suelo por medio de la evaporación, proporciona a la precipitación oportunidad para almacenarse en el suelo. La evaporación representa el movimiento de la humedad, en forma de vapor, de la superficie de las partículas del suelo a la atmósfera. En el aire, las partículas de vapor de agua se mueven de áreas de alta concentración, a áreas de baja concentración, esto es, de altos a bajos niveles de presión de vapor.

Las velocidades de evaporación dependen de la temperatura, del movimiento del viento, y del grado de presión de vapor. Ya que los tres elementos se afectan por el tipo y densidad de la vegetación, cualesquiera factores de cultivo o naturales, que modifiquen las características de la vegetación, también afectarán la velocidad de la evaporación. La vegetación, por la sombra que pro-

porciona al suelo, reduce su temperatura, reduciendo por lo tanto la evaporación. La vegetación al retardar el movimiento del viento demora la substitución de aire húmedo por aire más seco, y por lo tanto impide la evaporación. Estos efectos, además del efecto aislante del mantillo, contra el movimiento del aire y temperaturas altas del suelo, tienden a mantener las pérdidas por evaporación a un mínimo, bajo la compacta cubierta vegetal. La evaporación bajo la cubierta del bosque generalmente es menor que bajo una cubierta de zacates, reflejando principalmente el mayor efecto de la sombra producida por los árboles, y también el efecto aislante de la cubierta vegetal de la tierra.

Las pérdidas por evaporación son más rápidas en la superficie, porque las partículas son las más directamente expuestas al movimiento del viento y a las altas temperaturas. La velocidad del movimiento de las partículas de vapor de agua desde las capas más bajas del suelo a la superficie, se determina por el tamaño y forma de los poros. A mayor número de poros grandes, tanto más directas son las rutas por donde el vapor de agua puede escapar. Los suelos arenosos y otros con numerosos poros grandes o grietas, están por lo tanto sujetos a velocidades de evaporación más altas que los suelos de textura fina.

La profundidad a que alcanza la evaporación en un suelo desnudo, depende de la porosidad del suelo y de la profundidad del manto freático. En suelos de textura fina de las tierras altas, en donde el manto de agua no influye en la evaporación, las pérdidas de agua se limitan generalmente al primer pie de suelo. Los suelos de textura gruesa y los suelos agrietados, poseen más y mayor número de vías para el escape de las partículas de vapor, y aquí la evaporación puede extraer el agua desde profundidades tan grandes como 5 a 6 pies.

En donde el manto de agua yace contiguo a la superficie, tanto que la corriente capilar alimenta de agua para evaporación a la superficie, la porosidad del suelo es nuevamente el factor limitante, pero esta vez en relación al movimiento del agua, en su estado líquido más bien que en su estado de vapor. Como los poros pequeños conducen el agua capilar más lejos que los poros grandes, la evaporación en suelos de textura fina, afecta los mantos freáticos a mayores profundidades que en suelos de textura más gruesa. Para una arena gruesa la profundidad limitante es como de 14 pulgadas; para la arcilla, tres a cuatro pies (33). Así, en terrenos donde la oportunidad de evaporación es grande, a causa de los altos mantos de agua, la profundidad a la que la evaporación es efectiva, es mayor en la arcilla que en la arena; mientras que en terrenos de tierras elevadas, donde no son un factor los mantos de agua, se aplica lo contrario.

La cantidad de agua evaporada, varía no sólo con la temperatura y el movimiento del viento, sino también con la disponibilidad de agua aprovechable (oportunidad de evaporación). Este factor pesa más que todos los demás. Aún durante las altas temperaturas del verano, las pérdidas por evaporación no serán mayores que durante los meses más fríos del invierno, si el suelo no está frecuentemente mojado por la lluvia. Durante el invierno, cuando el suelo generalmente está, en o cerca de la capacidad de campo, las velocidades de evaporación estarán limitadas no solamente por el suministro de agua, sino por las condiciones debidas a las temperaturas bajas.

La estrecha subordinación de la evaporación del abastecimiento del agua utilizable, es a menudo confundida con la relación de la evaporación y la temperatura. Este error proviene del método que se usa para determinar la evaporación por medio de un evaporador con superficie de agua libre. Bajo tales condiciones, la pérdida de agua está ligada estrechamente a la temperatura, porque se dispone de un abastecimiento de agua continuo. Si toda el agua se evaporó del recipiente, obviamente ya no se aplicará la relación. Igualmente las temperaturas altas del suelo no pueden afectar la evaporación cuando no

hay humedad presente. Por lo tanto las pérdidas totales por evaporación, se determinan por la cantidad de agua que está disponible.

Ha quedado bien establecido que las velocidades de evaporación varían considerablemente de acuerdo con el grado de protección proporcionado a la superficie del suelo por medio de la vegetación (28). Sin embargo, es fácil suponer, que una vez que la cubierta está establecida, es probable que ocurra una pequeña variación en las velocidades de la evaporación, bajo las prácticas de manejo de bosques y pastizales, destinadas a sostener la vegetación suficiente con el fin de estabilizar el suelo en todo tiempo. Los cambios en el rendimiento del agua logrados por la modificación de la vegetación provendrán en gran manera de los efectos de la transpiración, más bien que de la evaporación.

LAS PLANTAS EXTRAEN EL AGUA DEL ALMACENAMIENTO

La transpiración, como la evaporación proporciona espacio de almacenamiento en el suelo. A este respecto las plantas pueden compararse a las bombas que se usan para vaciar un depósito. Mientras más agua se extrae, más espacio queda disponible para la precipitación. Qué tan de prisa, y cuánta agua puede extraerse, depende en parte de las limitaciones físicas y biológicas, y en parte a las prácticas establecidas para el uso de la tierra. Trataremos primero de las limitaciones físicas relativas a la transpiración.

La disponibilidad del agua para las plantas está condicionada a la fuerza con que la humedad se adhiere a las partículas del suelo. Puede expresarse en unidades de fuerza que se requiere para separar la humedad de las partículas. Estas unidades se expresarán aquí en atmósferas, aunque frecuentemente se expresan también en alturas de columnas de agua equivalentes a la unidad, o algunas veces como el logaritmo de la columna (pF).

Como se muestra en la figura 5, la fuerza que se necesita para separar la humedad del suelo, aumenta rápidamente con una disminución en el contenido de la humedad, abajo de la capacidad de campo. En la capacidad de campo, la fuerza es equivalente a un tercio, aproximadamente de una atmósfera (casi 5 libras por pulgada cuadrada). En el punto de marchitamiento es de 15 atmósferas (casi 225 libras por pulgada cuadrada). Esto demuestra, o que la vegetación no puede ejercer una fuerza mucho mayor que ésta, o que la velocidad del movimiento de la humedad es sumamente lenta para satisfacer las necesidades de la transpiración. Debe subrayarse que los valores de la capacidad de campo y el punto de secamiento, respectivamente, cuando se expresan en función de la energía, son los mismos para todas las texturas de suelos.

Sin embargo, aunque los valores de la energía son constantes en estos dos puntos, los contenidos de humedad no lo son. En el punto de marchitamiento, el contenido de humedad de la arcilla es relativamente alto, porque como se ha explicado antes, sus partículas pequeñas dan una extensa área de superficie para la adsorción del agua. En contraste, la arena con partículas más grandes y menor área de la superficie, puede retener menor cantidad de agua con el mismo nivel de energía. Así, un suelo arenoso puede secarse más pronto que uno arcilloso. Sin embargo, la arcilla tiene una capacidad de campo más alta. Porqué la diferencia —18%— en el contenido de humedad de los dos suelos, en el punto de marchitamiento, es menor que la diferencia —33%— en la capacidad de campo (figura 5), mayor cantidad de agua contiene la arcilla en el almacenamiento de retención y mayor cantidad quedará disponible para las plantas.

Para aclarar este punto, el almacenamiento de retención de un suelo areno-arcilloso, puede compararse con el almacenamiento en dos tanques de

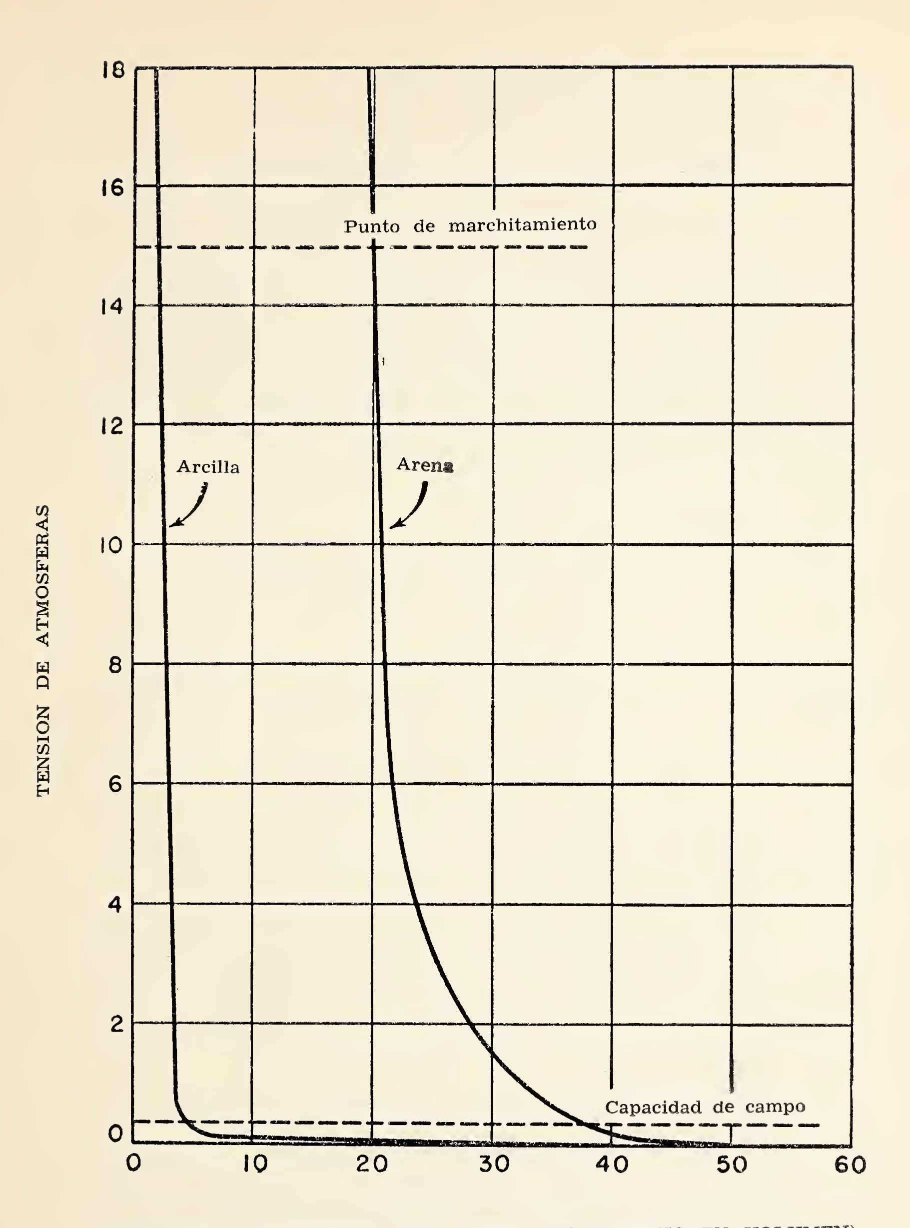


Fig. 5.—Relación característica, entre la tensión de humedad y la humedad del suelo contenida para arena y arcilla

diferente capacidad, de los cuales se extrae el agua por medio de dos bombas con igual longitud del tubo aspirante, que simulan las raíces de la vegetación (figura 6). Los tanques tienen la misma profundidad pero diferente diámetro. La semejanza entre la unidad de bombeo y la vegetación radica en los siguientes hechos: (1) La succión igual en cada uno de los tanques es comparable a la extracción igual del agua por medio de la vegtación de los dos

suelos. (2) Las profundidades a las que llegan los tubos de succión son iguales. y por lo tanto comparables al límite del punto de marchitamiento en función de la energía y, (3) los niveles superiores del agua simulan el límite de energía de la capicidad de campo en el suelo. Los límites de energía son iguales para ambos tanques, los dos en el punto de marchitamiento y capacidad de campo, como en el caso de suelos de diferente textura.

El agua extraída entre el nivel superior y el extremo inferior del tubo. es comparable al volumen del agua extraída en el suelo. entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento. En cada caso, el volumen total de agua extraída depende del volumen entre los dos límites. Así, mientras el agua disminuye en los tanques y en el suelo a iguales niveles de energía .mayor cantidad de agua se extrae del tanque más grande. por la misma razón que mayor cantidad de agua se extrae de la arcilla. Por lo tanto en esta comparación, los límites de energía y contenido de humedad. se determinan por las dimensiones del tanque: la altura del nivel del agua señala los límites de energía, y los diámetros de los tanques los contenidos de humedad.

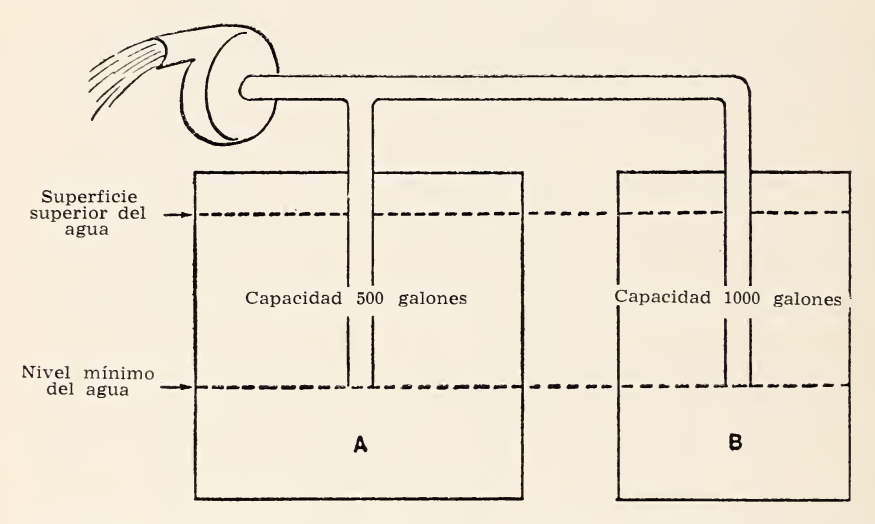


Fig. 6.—Ejemplo mecánico de la relación entre la tensión de humedad y el contenido de humedad

EXTRACCION DE LA HUMEDAD POR LAS RAICES

Las raíces obtienen la mayor parte de su humedad de las partículas del suelo, con las que están en contacto directo. Aunque existe cierto movimiento de humedad en las partículas adyacentes. la humedad contenida por una partícula de suelo a varios centímetros de una raíz, en general, no llega a estar en condiciones de disponibilidad para ésta. A este nivel de humedad, es decir en donde el agua está siendo contenido contra la fuerza de la gravedad, el movimiento de una zona de humedad alta a una baja. es tan lento. que para los fines prácticos no puede ser tomado en cuenta. Veihmeyer y Hendreickson (37), por ejemplo, encontraron que el agua en un suelo humedecido hasta su capacidad de campo, empleó 139 días para moverse solamente 8 pulgadas a través de un suelo seco.

Tomando en cuenta la baja velocidad del movimiento del agua. en almacenamiento de retención, es manifiesto que en las áreas de las tierras altas.

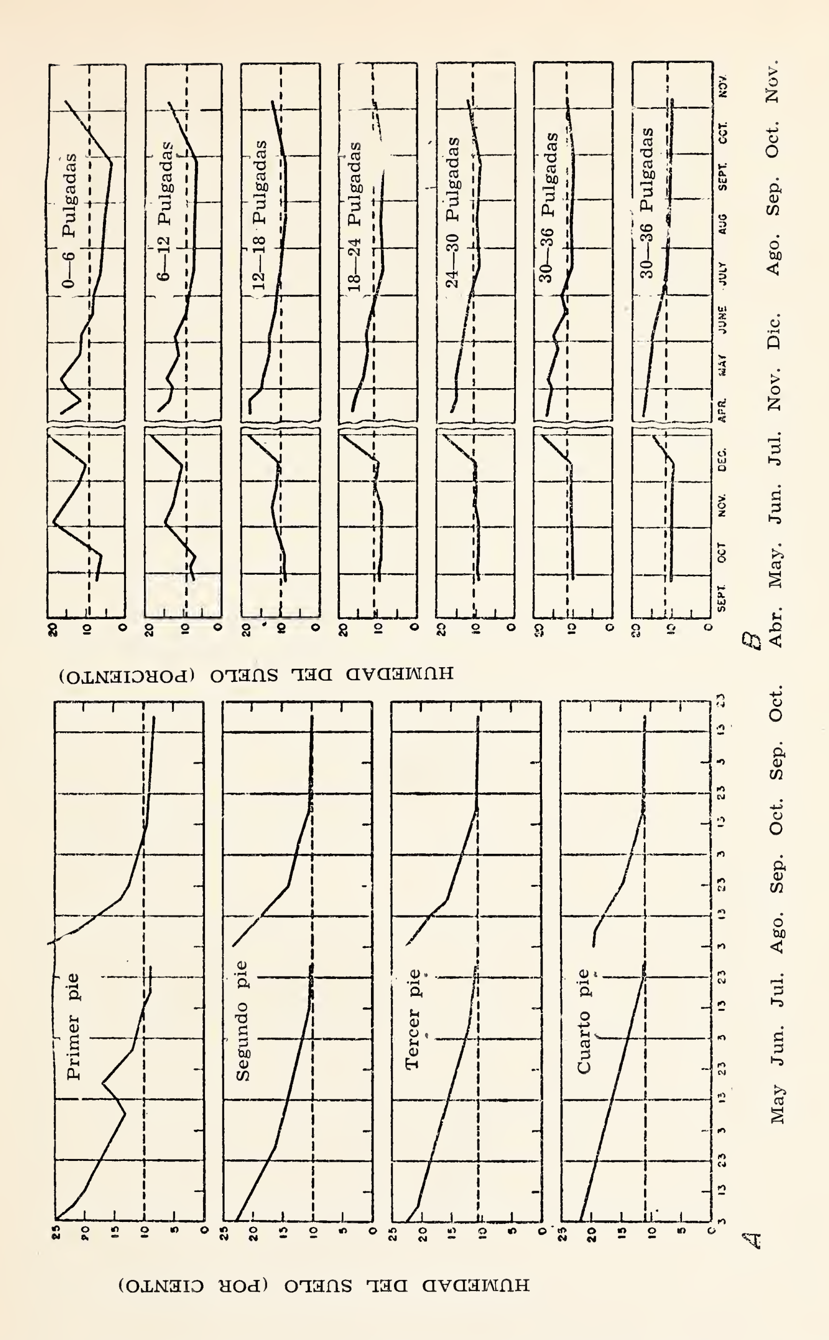


Fig. 7.—Curvas de extracción de la humedad del suelo. Los porcentajes de marchitamiento permanentes quedan indicados por líneas quebradas (21). A, Arboles de durazno sobre migajón arcilloso en Madera. El incremento de la humedad en el suelo, durante el mes de junio se debió a la lluvia; el correspondiente a principios de agosto a la irrigación. B, Vegetación nativa de desierto sobre migajón. "Hugo". Los incrementos en la humedad del suelo se deben a lluvias de otoño e invierno. Parte del registro durante los meses de invierno se omite

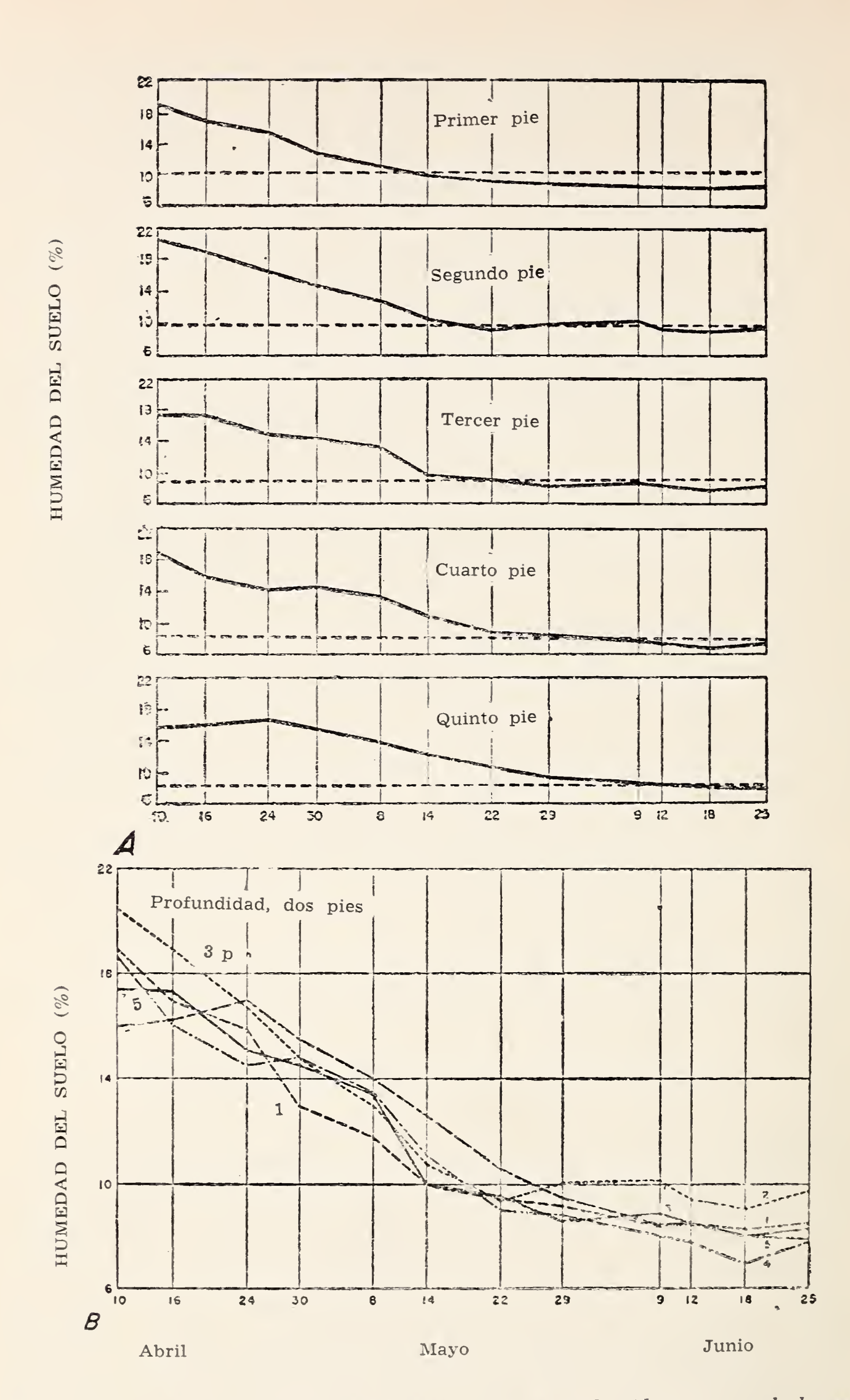


Fig. 8.—A, Curvas de extracción de humedad del suelo, obtenidas con remolacha azucarera sobre un migajón "Yolo". Los porcentajes de marchitamiento permanentes están indicados por las líneas quebradas (21). B, las curvas en A son superpuestas

en donde el manto freático está más bajo que el alcance de las raíces, la humedad del suelo aprovechable por una planta está limitada al aprovechamiento en la masa del suelo ocupado por su sistema radicular. En consecuencia, la extracción de la humedad estará limitada al volumen del suelo ocupado por las raíces (en áreas en donde las raíces pueden sacar agua del manto freático, se utilizan abastecimientos adicionales).

Cuando el agua está disponible arriba del punto de marchitamiento, las raíces extraen humedad simultáneamente de todas las profundidades del suelo que ocupan. El conocimiento propio de este hecho fundamental, aclarará mucho la relación entre el uso de la tierra y el almacenamiento de retención, y los aspectos afines de la hidrología de la tierra.

Las curvas típicas de extracción de la humedad, se muestran en las figuras 7 y 8. Los tres primeros ejemplos (figuras 7, A y B y 8, A) muestran la marcha de las curvas de la humedad del suelo, para árboles de durazno, vegetación propia del desierto y remolacha, a profundidades sucesivas de un pie o 6 pulgadas. Las inclinaciones de las curvas en cada grupo aparecen casi paralelas, indicando con ello, que la humedad del suelo estaba siendo extraída, a casi la misma velocidad en todas partes de la profundidad de penetración de la raíz. La figura 8, B, la cual se deriva representando gráficamente juntas las curvas en la figura 8, A, indica que por cada intervalo de tiempo, hay una disminución en el contenido de humedad, por cada pie de profundidad. Los aumentos y disminuciones en el contenido de humedad en las capas superiores del suelo, durante determinados meses, se deben posiblemente a pequeñas tormentas de agua que humedecen tan solo las capas de encima, y a los efectos de pérdidas adicionales de humedad en virtud de la evaporación. Estas cartas hidrográficas permiten deducir que las deficiencias de humedad en un manto determinado del suelo, en cualquier tiempo, se extenderían a mayores profundidades bajo una vegetación con raíces profundas, que bajo una vegetación con raíces superficiales.

Las curvas ilustran, también, el principio de que la velocidad de extracción de la humedad, es una función del contenido de humedad; mientras mayor es el contenido, más rápidamente se extrae el agua. De la forma de estas curvas como se muestra en la figura 7, es evidente que la velocidad a la que las raíces extraen la humedad, disminuye conforme el contenido de humedad decrece, o, en relación con la energía (fig. 5), cuando la fuerza incrementada se necesita para vencer la atracción de la humedad por la partícula del suelo. Cuando la humedad llega a estar disponible a una determinada profundidad, como cuando a la superfiice llega una lluvia ligera, la velocidad de extracción a esta profundidad se incrementará. Durante este intervalo de tiempo, la extracción de la humedad continuará a otras profundidades, pero comparativamente a tensiones más altas y a velocidades más bajas. Los análisis precedentes indican la operación de una relación reguladora, que tiende a reducir las diferencias entre las magnitudes de las fuerzas que intervienen en la extracción de la humedad a las diversas profundidades. Así, a altos contenidos de humedad, la humedad del suelo se reducirá más rápidamente, que a bajos contenidos de humedad, tendiendo a mantener juntos los niveles de energía y los contenidos de humedad. Expresado simplemente, a más alto contenido de humedad, más rápida es la pérdida. Esto se manifiesta por la retracción inicial de la curva correspondiente a un pie en la figura 7-A. El contenido de humedad en esta profundidad, al principo del registro fue mayor en el pie superior, que a más bajas profundidades. Pero esta curva desciende rápidamente a la posición correspondiente de las otras. Las relaciones que acaban de explicarse, hacen posible establecer una generalización aplicable a la capa del suelo que está ocupada por las raíces, debajo de la profundidad afectada por la evaporación;

es decir, que esta parte del suelo, se secará a velocidades tales, que el punto de marchitamiento —o cualquier otro punto de fuerza equivalente— tenderá a alcanzarse casi al mismo tiempo en todas las profundidades. Si durante este período de secamiento, el agua de lluvia humedece solamente una capa superior, la velocidad de pérdida de humedad será mayor para la porción humedecida, que para las profundidades inferiores más secas, tendiendo por lo tanto a mantener la profundidad, total a un mismo nivel de energía. Considerando un caso extremo, la extracción de la humedad de cada capa de un suelo compuesto de capas alternadas de arena y arcilla, proseguirá a velocidades determinadas por la forma de las curvas de tensión aplicables. Entonces (después del principio en la capacidad de campo, en ambas capas del suelo), en cualquier tiempo que sea, la fuerza, está en el mismo punto, entre 15 y 1/3 atmósferas en la arena, en la arcilla se aproximará al mismo valor.

Hidrológicamente, estas relaciones son muy significativas. La vegetación, cuyas raíces tienen 4 pies de profundidad, proporcionará dos veces tanta oportunidad para el almacenamiento de retención en el suelo, como la vegetación en una superficie similar, cuyas raíces tienen solamente 2 pies de profundidad. Supuesto que, 2 pulgadas de agua por cada pie de suelo pueden almacenarse para retención, una lluvia que cae después que se alcanzó el punto de marchitamiento, tendrá que satisfacer el déficit de 8 pulgadas originado por el sistema radicular de cuatro pies, pero un déficit de solamente 4 pulgadas para el sistema radicular de 2 pies. Pasando por alto, el apenas efectivo almacenamiento de retención temporal, por razón de su simplicidad, se desprende que una lluvia entre 4 y 8 pulgadas superará al almacenamiento aprovechable en el área con raíces más superficiales. Ninguna demasía ocurrirá en el área que ocupan las plantas con sistema radicular más profundo.

Igual razonamiento se aplica a cualesquiera condiciones intermedias de humedad. La lluvia que cae cuando el contenido de humedad ha descendido a una pulgada por pie debajo de la capacidad de campo, tendrá que satisfacer una deficiencia de 2 pulgadas en el área con raíces profundas, antes que pueda producir escurrimiento. Para la siguiente lluvia, tendría que ponerse a disposición un espacio de almacenamiento adicional del doble, tan rápidamente en el área con raíces profundas como en el área con raíces superficiales. La velocidad de secamiento por unidad de profundidad tendría que ser la misma en ambos casos, pero el suelo tendría que ser desecado a una profundidad de cuatro pies en una área y a una profundidad de 2 pies en la otra.

Estas consideraciones señalan ciertas características notorias entre la transpiración y la evaporación, particularmente en relación con el modo en que originan el almacenamiento de retención aprovechable. Una es que, mientras la transpiración extrae el agua simultáneamente de toda la profundidad completa ocupada por las raíces, la evaporación avanza hacia abajo desde la superficie. Otra es que, actuando sobre un volumen más grande de suelo, la transpiración extrae una cantidad de agua en la unidad de tiempo mayor que la evaporación.

Considerando un suelo, en el cual la evaporación y la transpiración alcancen la misma profundidad, una comparación de la pérdida de agua de una superficie desnuda (en donde el agua se extrae únicamente por evaporación) con una área bien provista de vegetación (en donde la transpiración es el agente principal), mostrará que el agua se extrae más rápidamente —esto es, la oportunidad para el almacenamiento de retención, se origina más pronto— en el suelo provisto de vegetación. Pero, suponiendo que no se adicione nada de humedad a cualesquiera de las dos superficies, la evaporación ocasionalmente extraerá una mayor cantidad de agua, a causa de que el proceso relativo a la

evaporación no se rige por factores fisiológicos, los cuales limitan las pérdidas por transpiración.

La evaporación y la transpiración no alcanzan iguales profundidades en la mayor parte de los suelos de las tierras altas. Como se señaló anteriormente, a menos que el suelo sea flojo en su estructura, o esté agrietado, la pérdida de agua por evaporación se limita, generalmente, al primer pie. La transpiración, por lo general puede resecar el suelo a una profudidad mayor, como lo determinan la profundidad y extensión de las raíces. Por ejemplo, durante una prolongada sequía en Rothamsted no se perdió nada de agua de una parcela desnuda debajo de la profundidad de 18 pulgadas; sin embargo, en una parcela vecina, un cultivo de cebada redujo su contenido de agua a una profundidad de 45 a 54 pulgadas (35).

Sin embargo, debe tenerse en cuenta, que las comparaciones entre la evaporación en un suelo desnudo y la transpiración, sirven tan solo para indicar la manera y las magnitudes de las pérdidas de agua. En realidad, grandes extensiones de superficies completamente desnudas —en donde solo tiene lugar la evaporación— no son comunes. Donde sí tienen lugar es en las regiones áridas donde la carencia de agua limita severamente las pérdidas por evaporación. Los terrenos desnudos dentro de áreas que no están pobladas densamente con vegetación, tienen una importancia hidrológica que se refiere más directamente a la velocidad a que el agua puede penetrar en la superficie del suelo, que a las pérdidas por evaporación.

LA TRANSPIRACION Y LAS CARACTERISTICAS DE LA RAIZ

Puesto que la oportunidad del almacenamiento de retención en el suelo, dependen en gran parte de la extracción de la humedad por medio de la transpiración, es manifiesto que los cambios en la vegetación de los bosques y pastizales, por el uso de la tierra, afectarán la transpiración, y a su vez, la disponibilidad de espacio de almacenamiento de agua en el suelo. Un indicio de estas relaciones, radica en el comportamiento natural de las raíces. La profundidad de las raíces es influenciada tanto por las características inherentes de las plantas como por las condiciones del medio en que viven.

Tan grandes diferencias que se encuentran entre las plantas respecto a la profundidad de la raíz, se ilustran por los siguientes datos correspondientes a distintas especies de árboles en la región de la zona de protección.

PROFUNDIDAD DE LA RAIZ DE LOS ARBOLES EN LA ZONA DE PROTECCION DE GREAT PLAINS (22)

Superficial	*Intermedio*	*Profundo*
con raíces de	5 a 10 pies	con raíces de
1 a 5 pies	Fraxinus pennsylvanica	10 a 20 pies
Pinus banksiana	Ulmus americana	Pinus ponderosa
Pinus silvestris L	Juniperus virginiana	Celtis occidentalis
Abies sp.	Elaeagnus angustifolia L.	Quercus macrocarpa
Salix alba	C. caragana Karst	Morus sp.
Populus deltoides	Acer negundo L.	Toxylon pomiferum
Catalpa sp.	Robinia pseudacasia	

Si el almacenamiento varió directamente con la profundidad de la raíz, y la profundidad media para cada grupo, fue de 2, 8 y 16 pies respectivamente, las áreas con las raíces más profundas tendrían 8 veces más capacidad potencial

de almacenamiento que las áreas con raíces poco profundas. La figura 9 nos muestra raíces de vegetación de pradera que varía de 1 a casi 8 pies de profundidad. Con esta base, el espacio de almacenamiento, bajo un acre de mulesears wyethia sería con razón 6 veces mayor que aquélla bajo un acre de panizo azul Sandberg (Poa secunda).

Los efectos, sobre el almacenamiento del agua en el suelo, reduciendo la transpiración con la disminución de la profundidad de la raíz, ha sido demostrado. En un experimento que se efectuó en Utah (9) fueron derribados los árboles de álamo de raíces profundas, dejándose en pie las plantas herbáceas con raíces superficiales. A menor cantidad de agua que utilizaron estas últimas, una mayor proporción de la precipitación quedó disponible para la corriente de agua.



Fig. 9.—Variación en la profundidad y distribución de los sistemas radiculares de algunas plantas importantes de pradera (39) s, Sieversia ciliata; w, Wyethia amplexicaulis; ll, Lupinus leucophyllus; v°, Lupinus ornatus; p, Poa secunda; e, Leptotaenia multifida; a, Agropyron spicatum

Otra ilustración de la relación que existe entre la profundidad de la raíz y el almacenamiento de agua lo proporciona un estudio efectuado en el sureste de Washington (24). El suelo estaba formado por un migajón limo-arcilloso, por lo menos de 17 pies de profundidad. Los cambios en la humedad del suelo se apreciaron respectivamente sobre tierra arada en verano y dejada en barbecho (sin vegetación) con cultivos de zacatón, alfalfa y una plantación de especies mezcladas de coníferas y maderas duras. Si se toma en cuenta que la profundidad a la que se extrae la humedad, casi se aproxima a la profundidad de penetración de la raíz, entonces las diferencias en la profundidad de las raíces y el almacenamiento de la humedad en el suelo, al final del período vegetativo, pueden ser evaluadas. Sobre esta base, el máximo almacenamiento, 48 pulgadas, se efectuó bajo la cubierta de alfalfa, cuyas raíces, al parecer se extendieron por lo menos a una profundidad de 14 pies. El siguiente almacenamiento, 41 pulgadas, se verificó bajo la cubierta de árboles, cuyas raíces tuvieron aparentemente una profundidad de 12 pies. El almacenamiento bajo la cubierta de zacatón, cuyas raíces aparentemente llegaron sólo a una profundidad de 6 pies, fue de 20 pulgadas. La cantidad mínima de almacenamiento se

encontró bajo la superficie sin ninguna vegetación. (El contenido de humedad en pulgadas, se obtuvo sobre la base de una capacidad de almacenamiento calculada de 30.9 pulgadas, por 9 pies de suelo, como se expresa en la publicación que se menciona).

Las características inherentes a las raíces de las plantas, no parecen limitar el lugar que ocupan solamente a aquellas áreas en donde pueden encontrar el máximo de desarrollo. La mayoría de las plantas vivirán aunque sus raíces tengan impedimentos para alcanzar su máxima profundidad, por obstáculos tales como una aireación pobre o una capa impermeable. Dentro de ciertas limitaciones las plantas tienen la facultad de ajustarse por sí solas a suelos menos profundos que los óptimos para el mejor desarrollo de sus raíces. Por ejemplo, los suelos superficiales de Volusia, en New York, sustentan álamo, haya, abedul y arce, cuyas raíces ocupan completamente las 12 a 18 pulgadas de encima de la capa impermeable. No obstante, en los suelos vecinos de Lordstown, las raíces de las mismas especies penetraron una pulgada o dos dentro del lecho de roca, el cual se encuentra aquí a 30 o 36 pulgadas debajo de la superficie. Los álamos que crecen en suelos profundos en Wasatch Front, en Utah, prolongan sus raíces por lo menos 6 pies hacia abajo.

Esta facultad de las plantas para ocupar suelos menos profundos que su capacidad inherente de profundizar de sus raíces, es altamente importante en el manejo de cuencas. Inherentemente, las plantas con raíces profundas, que se desarrollan en suelos poco profundos, se aprovecharán de cualquier incremento en la profundidad del suelo proveniente de la incorporación de materia orgánica. De esta manera contribuirán a incrementar la cantidad total de humedad disponible para la transpiración.

Además de las diferencias en la transpiración, asociadas con las características variables de las raíces, también parece haber notables diferencias en las velocidades correspondientes a la transpiración, entre las distintas especies durante el período de desarrollo. Sin embargo, estas diferencias se cree tienen poca significación en el manejo de cuencas. Basados generalmente en experimentos en los cuales las especies que se estudiaron estuvieron abastecidas de tanta agua como pudieron aprovechar, tienen poca aplicación en las condiciones que privan en el campo, en donde la cantidad de agua disponible es el factor limitante total en la transpiración.

Las curvas de evapo-transpiración potenciales y de abastecimiento de agua, de Thornthwaite, indican que para la mayoría de las regiones del país, no hay la suficiente precipitación durante el período vegetativo, para satisfacer las necesidades de evapo-transpiración potenciales (36). En consecuencia haciendo caso omiso de las diferencias en la profundidad de la raíz, es muy dudoso que en alguna localidad, un tipo de vegetación boscosa aproveche mayores cantidades de agua, que otro tipo en iguales períodos de tiempo, durante el período de crecimiento. Conocida toda el agua que se necesita, probablemente pueden existir diferencias, pero en las áreas de las tierras altas, esta condición no se aplica, así que las diferencias en la transpiración pueden para la mayor parte atribuirse a las diferencias en la profundidad del suelo ocupado por las raíces de las plantas.

Es posible que especies o tipos diferentes de vegetación de las tierras altas, puedan transpirar a diferentes velocidades durante los períodos de invierno, en que el desarrollo es lento y relativamente grande la disponibilidad de humedad. Las diferencias también pueden referirse a los tiempos variables, cuando se inicia el desarrollo y las velocidades de transpiración aumentan durante la primavera. Que la transpiración durante el invierno sea mayor, para los árboles de hojas anchas o las coníferas, todavía no ha sido determinado satisfactoriamente. Algunos estudios muestran poca diferencia (34). En el tiempo en que

comienza el desarrollo en la primavera puede quizá ser más significativo. Así, Hoover[5] encontró, que en la primavera el Pinus taeda comienza a extraer el agua del almacenamiento de retención 2 semanas antes que el Andropogón sp. Las diferencias entre las especies caducifolias durante el tiempo requerido para desarrollar completamente su follaje en la primavera, también deben afectar las velocidades de transpiración.

La transpiración también se afecta por la velocidad del desarrollo del sistema radicular. durante el período de crecimiento, particularmente en el caso de las plantas anuales. En este punto el crecimiento de las raíces proporciona oportunidad de incremento para la extracción del agua a medida que avanza la estación. Las velocidades de extracción del agua para varias profundidades (11), se ilustra en seguida, como lo muestra Kramer (29), en la figura 10. Las raíces de la planta de tomate alcanzaron el nivel de 4 pies en junio 15, 6 pies en julio 20, 8 pies casi en agosto 15, y 12 pies en septiembre 3. Casi toda el agua disponible se aprovechó en todas las profundidades que se midieron. La figura también indica que 1.7 pulgadas de la capacidad de almacenamiento estaba disponible en junio 15, en los dos pies de encima del suelo. Por octubre 23, 21.0 pulgadas, aproximadamente del espacio de almacenamiento, estuvo disponible en toda la profundidad correspondiente a 12 pies, o casi 12 veces otro tanto. Estas mismas relaciones, entre la pérdida de agua y el desarrollo de la raíz, podrían también aplicarse para el desarrollo de la vegetación perenne.

EFECTOS DEL TRATAMIENTO VEGETATIVO SOBRE LA TRANSPIRACION

Ya que el espacio de almacenamiento disponible, depende en gran parte, de las pérdidas por transpiración, cualquier cambio en las condiciones de la vegetación, que altere las velocidades de la transpiración, también afectarán la oportunidad de almacenamiento. Así la eliminación o muerte de la vegetación influye en la transpiración. La superficie de las hojas, y en consecuencia la transpiración se reduce. Cuando solamente parte de la planta se destruye, la transpiración puede o no reducirse, dependiendo esto de si la velocidad de transpiración puede mantenerse con la superficie de las hojas que quedan. Sin embargo, ya que el crecimiento de la raíz, depende del alimento producido por la planta mediante la actividad fotosintética de la copa, cualquier reducción en el área de la hoja puede esperarse que reduzca el crecimiento de la raíz. Por lo tanto, tiende a haber un equilibrio entre el follaje y la actividad de la raíz. La muerte de la vegetación reduce la profundidad de la raíz y en consecuencia la profundidad del suelo de donde las raíces extraen la humedad.

Esto presenta un aspecto totalmente nuevo a cerca de los efectos de los incendios de los bosques sobre el funcionamiento de la cuenca. Un fuego intenso puede cambiar definitivamente la velocidad a la que se extrae la humedad del suelo. Donde a la destrucción de la vegetación existente sigue una invasión de diferentes especies de plantas, los sistemas radiculares de la nueva vegetación no pueden extenderse tan profundamente como los de la vegetación original. Si bien es cierto que la oportunidad para extraer el agua del suelo merma, más humedad permanece en el mismo, y por lo tanto la oportunidad para el almacenamiento de retención disminuye. Igualmente, el corte total de un bosque puede tener un efecto hidrológicamente notable, donde los arbustos, y espe-

[5] Datos inéditos. Bosque Experimental Calhoun, 1950. Serv. Forestal de los Estados Unidos. Estación Experimental de Bosques de S.E.

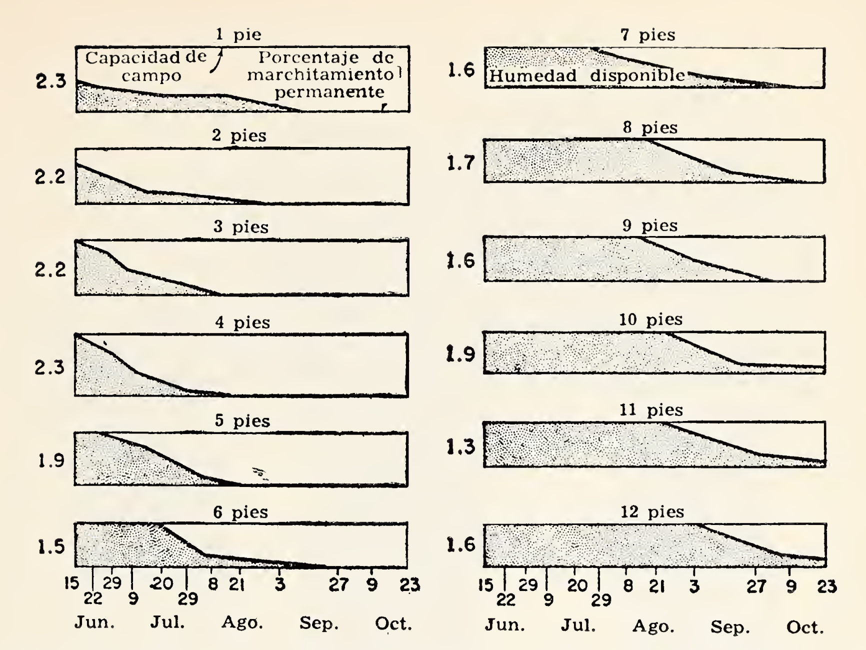


Fig. 10.—Proporción de la extracción del agua por plantas de tomate, de distintas profundidades en un campo no irrigado. Las superficies claras en cada rectángulo indican la proporción de agua disponible extraída; las áreas sombreadas significan el agua todavía disponible para uso de las plantas (11)

cialmente el desarrollo herbáceo, que incluye el bosque bajo tienen raíces menos profundas que los árboles. Restableciéndose aquellas especies de árboles, las condiciones hidrológicas anteriores pueden esperarse que vuelvan de nuevo.

Cuando una superficie se desmonta totalmente y es inmediatamente replantada, puede transcurrir mucho tiempo antes de que el desarrollo de las raíces ocupen totalmente el suelo y así proporcionar el espacio máximo para el almacenamiento del agua. Coile (8) encontró que el desarrollo de la raíz del Pinus Taeda en el horizonte de la superficie (a la profundidad de un pie) aumentó rápidamente hasta que la arboleda tuvo de 20 a 30 años de edad. Después la velocidad fue más lenta, pero todavía apreciable durante el período en que las especies críticas (maderas duras) fueron sustituyendo al pino.

Los cambios en el almacenamiento, consecutivos del tratamiento del bosque, se indican en las anotaciones del Laboratorio Hidrológico de Coweeta, en la Estación Experimental de Bosques y Pastizales del Sureste. Desmontando toda la vegetación en una cuenca boscosa, el agua total obtenida durante el primer año aumentó 65%. Después de 10 años con el nuevo desarrollo de la cuenca, el agua obtenida descendió de 65% arriba de lo normal, a casi 20 o 25%. Este experimento indica que cuanta más agua transpira la vegetación en desarrollo, mayor espacio de almacenamiento de retención queda disponible y menor proporción de la precipitación va hacia la corriente de agua.

El pastoreo también afecta el desarrollo de las raíces y por lo tanto la capacidad de almacenamiento del suelo. Kramer (29) al revisar la literatura relacionada sobre el efecto del desbroce de los zacates y pastoreo sobre el desarrollo de la raíz, cita entre otras fuentes las investigaciones de Biswell y Weaver (7), respecto a que 4 a 7 cortes o desbroces de diversas especies de zacates,



Fig. 11.—Plantas desarrolladas de Andropogón scoparius, procedentes de témpanos de tierra vegetal de igual tamaño, tomadas de un pasto excelente, de uno bueno, y de uno pobre. Este es el nuevo desarrollo después de seis semanas. El peso de las partes superiores fue de: 30.22, 12.89, y 1.87 gramos: el peso de las raíces fue de: 4.70, 1.72, y 0.33 gramos respectivamente. Las raíces fueron progresivamente más tiernas a medida que disminuyó su vigor (40)

reduce el peso seco de las raíces a un promedio de 10% que el de los zacates no afectados por esta operación. Las investigaciones de Weaver y Darland (40), muestran que las plantas de zacates sobre pastoreadas, desarrollan muy pocas raíces nuevas, comparadas con las plantas no sometidas a pastoreo, y además, que muchas de las raíces viejas mueren (fig. 11). Por lo tanto la oportunidad para el almacenamiento de retención en una área de pastoreo —especialmente una sujeta a sobrepastoreo— llega a ser menor que la correspondiente a una área no pastoreada.

EL ALMACENAMIENTO DE RETENCION Y LA CORRIENTE DE AGUA

La exposición anterior, se ha limitado completamente al agua en almacenamiento de retención. Tres hechos han sido enfatizados: primero, el movimiento de esta agua, es tan lento que se considera prácticamente inexistente, tanto que el agua aprovechable por las plantas, debe venir de dentro de la masa del suelo ocupada por el sistema radicular; segundo, el caudal correspondiente al almacenamiento de retención se afecta por las prácticas sobre el uso de la tierra, que influyen en la profundidad del suelo y en su capacidad de retención de agua, mediante la producción y descomposición de la materia orgánica; y tercero, las condiciones de la vegetación provenientes de las prácticas sobre el uso de la tierra, determinan la oportunidad para el almacenamiento de retención, de conformidad con las características de la raíz.

Las influencias relativas al tratamiento de la vegetación, sobre el almacenamiento de retención, se reflejan en la cantidad y en la velocidad de la corriente de agua. Por medio del manejo del bosque y la vegetación propia de pastizales, de manera que tanto la profundidad a la que el agua se almacena, como la capacidad de retención de las partículas del suelo, se aumentan (incrementando, por lo tanto, la capacidad total de almacenamiento), mayor cantidad de precipitación puede almacenarse. Consecuentemente menor cantidad irá hacia la corriente, y la obtención de agua se reducirá. Además, es posible aumentar la capacidad total de almacenamiento de retención, de suelos profundos, favoreciendo o introduciendo una vegetación con sistema radicular más profundo. Por la extracción del agua de profundidades mayores, la mencionada vegetación podría proporcionar mayor espacio para el almacenamiento de la precipictación de manera que menor cantidad vaya a la corriente de agua.

El tratamiento de la cuenca, no solamente afecta el almacenamiento de retención total, sino también la oportunidad para el almacenamiento de retención en cualquier tiempo. A falta de vegetación, el espacio de almacenamiento disponible, se origina únicamente en virtud de las pérdidas por evaporación. Sin embargo, bajo tales condiciones el espacio de almacenamiento aprovechable, frecuentemente no puede ser utilizado, a causa de que la velocidad de penetración del agua dentro del suelo, puede estar muy restringida por una superficie apenas permeable al agua. Por otro lado, donde existe vegetación, la evaporación se reduce, pero la pérdida total debida a la transpiración, más la evaporación, es por lo general mayor que la pérdida por evaporación sola, en una área desprovista de vegetación. Por lo tanto, la oportunidad no es solo mayor bajo la vegetación, sino también originada más rápidamente que en las áreas desnudas.

En resumen, la oportunidad para el almacenamiento de retención, en una superficie determinada, puede incrementarse de la manera siguiente: (1) manteniendo un macizo de vegetación cuyas raíces ocupen completamente el suelo, de manera que sea proporcionado el máximo de espacio de almacenamiento: (2) favoreciendo el crecimiento de una vegetación con raíces profundas; (3) favoreciendo también las formas de desarrollo de la planta que tenga en el más largo período para el uso del agua.

La ventaja de contar con un amplio volumen para la oportunidad del almacenamiento de retención, como un medio de reducir las posibilidades de inundaciones, se vuelven significativas especialmente en los períodos de fuerte precipitación, durante el período vegetativo. El volumen del espacio en estos casos, dependerá en gran manera de la cantidad de agua que haya sido extraída por la vegetación desde la lluvia anterior. Esto a su vez, depende sus carac-

terísticas respecto del uso del agua. El desarrollo con raíces profundas extraerá la mayor cantidad de agua; en consecuencia, las inundaciones se reducirán más por dicho desarrollo.

La oportunidad para el almacenamiento de retención, también puede reducirse por medio del régimen de la cuenca. Ahora, el objetivo será reducir las pérdidas por causa de la transpiración, teniendo, por lo tanto, menor almacenamiento aprovechable para la precipitación, y más precipitación disponible para la corriente de agua. Un requerimiento importante de tal operación será la conservación de la estabilidad del suelo.

Los efectos de la vegetación y su tratamiento sobre una corriente de agua, han sido hasta ahora descritos principalmente en términos volumétricos. Sin embargo, sobre y fuera de este aspecto, está el efecto sobre el movimiento del agua en el suelo y el almacenamiento de retención temporal, que tiene lugar durante este movimiento. Por la influencia que tiene sobre el movimiento del agua y el almacenamiento de retención temporal, el tratamiento de la vegetación juega un importante papel en la determinación de la distribución de la precipitación para las corrientes, de la superficie del subsuelo y de la base, respectivamente. A causa de que cada tipo de corriente de agua tiene su velocidad propia, el tratamiento relativo a la cubierta vegetal modifica la duración del tiempo requerida por la precipitación (además que la que cae directamente sobre y a lo largo de las corrientes) para alcanzar los cauces. De esta manera influye en las velocidades de las corrientes de agua y en la forma de las gráficas del hidrógrafo.

EL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO Y EL ALMACENAMIENTO TEMPORAL

Las velocidades a las que el agua penetra, se mueve a través, y es contenida temporalmente en el suelo, son determinadas por la extensión, número y disposición de los poros grandes (no-capilares). El retraso temporal que tiene lugar durante el movimiento del agua, se denomina "almacenamiento de retención temporal, para distinguirlo del almacenamiento de retención propiamente dicho, en los poros pequeños (capilares).

FACTORES QUE AFECTAN LA POROSIDAD DEL SUELO

La porosidad no-capilar y el movimiento del agua, y el almacenamiento de retención temporal, son afectados por cierto número de factores entre los cuales la textura del suelo debe considerarse primero. Suponiendo, por esta vez que los suelos se componen solamente de partículas de un solo grano, la velocidad a la que el agua se mueve entre ellos, dependerá de su tamaño. Como ha sido señalado anteriormente, en la parte relativa al almacenamiento de retención, el tamaño de las partículas (textura del suelo) es importante a causa de sus efectos sobre el área de la superficie. Las partículas pequeñas proporcionan mayor resistencia a la corriente de agua, que las grandes, porque el agua se pone en contacto con más superficie, y se produce mayor fricción.

Esto es semejante a un fenómeno que se verifica en un tubo de descarga. Bajo la misma presión, mayor cantidad de agua pasará a través de un tubo grande con determinada área de sección, que a través de varios tubos pequeños de sección más reducida, con la misma área total. La razón es que mayor superficie se pone en contacto con el agua en los tubos más pequeños que en el único tubo más grande. en consecuencia, la fricción total y la resistencia a la corriente de agua, es mayor en los tubos pequeños. Por ejemplo, de acuerdo

con la fórmula correspondiente a la descarga de agua a través de un tubo, ésta es directamente proporcional a la cuarta potencia de su radio interno. Sobre esta base, en igualdad de circunstancias, se necesitarán 16 tubos de 2 pulgadas de diámetro para proporcionar tanta agua como un tubo con un diámetro de 4 pulgadas.

El efecto de la textura del suelo, sobre la velocidad del movimiento del agua (permeabilidad), es muy claro, en los límites de las texturas de los suelos, desde arena gruesa hasta arena muy fina. Después de la introducción de partículas de arcilla, en cantidades suficientes para modificar la textura de un suelo arcilloso, la permeabilidad se vuelve insignificante y el efecto de otros cambios en la textura no es tan claro. Sin embargo, velocidades de varias pulgadas por ahora, han sido reportadas para las arcillas. Esta notable diferencia, se debe al efecto de la mezcla de la materia orgánica y la arcilla sobre el tamaño y distribución de los poros no-capilares en el suelo más permeable.

Mediante la adición de materia orgánica al suelo, se incrementa el espacio no-capilar de los poros, por la separación de las partículas del suelo, y originando poros adicionales grandes. La misma materia orgánica, tiene un peso específico ligero; la turba, por ejemplo, tiene un peso específico de 0.4. Juntamente con su peso ligero está su gran porosidad, tanto que el agua se mueve rápidamente a través de la misma. Así, la incorporación de materia orgánica, dentro del suelo reduce su peso. Menor peso específico a su vez, indica más grande espacio de los poros, mayormente de naturaleza no-capilar.

Además de que se produce una separación física de las partículas y característicamente una porosidad no-capilar alta, la materia orgánica también incrementa la porosidad no-capilar por la formación de grumos. En este proceso la materia orgánica funciona como un agente de unión, los compuestos orgánicos solubles, forman una cubierta sobre el conjunto de partículas. Un requisito más para la formación de grumos es la presencia de ciertas partículas de arcilla, se requiere un compuesto de arcilla, de por lo menos 8 a 10%.

La unión simultánea de las partículas, tiende a concentrar los espacios de los poros en grandes aberturas, incrementando de esa manera la porosidad no-capilar. Junto con este proceso se verifica un aumento en la porosidad total, y bajo ciertas circunstancias, como ya ha sido señalado en la parte relativa al almacenamiento de retención, una disminución en la porosidad capilar.

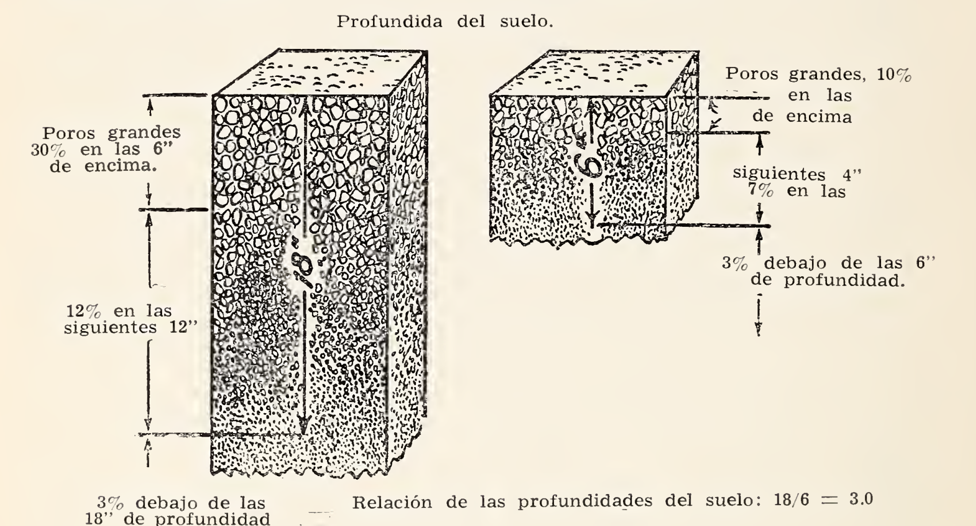
El fenómeno de agregación causa una reducción en el número de partículas, y en consecuencia en su superficie específica, en el volumen del suelo original, y esto a su vez, disminuye la capacidad del almacenamiento de retención. A medida que se incorpora materia orgánica al suelo, y por lo tanto mientras se verifica el fenómeno de agregación, la masa del suelo se dilata más, hacia arriba (la línea de menor resistencia a la presión, originada por la agregación) produciendo, en efecto una reducción en el peso específico. Lo que resulta es que la anterior capacidad de retención para toda la masa comprendida, puede restituirse y aún incrementarse.

Mientras más grandes son los grumos que se forman, mayor es la cantidad de espacios de los poros no capilares. Por ejemplo, un suelo con partículas de menos de 0.5 mm. de diámetro, tiene una porosidad total de 47.5%, de la cual 2.7 es porosidad no-capilar, y 44.8 porosidad capilar. La formación de grumos dentro de uno a dos milímetros de diámetro incrementa la porosidad total a 54.7%. La porosidad no-capilar queda aumentada a 29.6%, casi 11 veces mayor que el 2.7% original. La porosidad capilar quedó disminuida a 25.1%. Cuando los agregados aumentan a volúmenes que fluctúan entre 3 y 5 milímetros, la porosidad total aumenta a 62.5%, y la porosidad no-capilar a 38.7% al paso que la porosidad capilar disminuye a 23.9%. Incrementando la porosidad no-capilar de 2.7 a 38.7%, se hace el almacenamiento de retención

temporal más de 14 veces mayor. Hay también una reducción en el peso específico de 32%, equivalente a un 32% de aumento en la profundidad del suelo (5).

Por lo tanto, es obvio que el fenómeno de agregación puede modificar, tanto la porosidad de un suelo, como para ocultar completamente el efecto de la textura sobre la porosidad. En el ejemplo anterior el suelo original era de arcilla. Después de la agregación un análisis de textura pudo mostrar que todavía era una arcilla, pero por lo que respecta al espacio de almacenamiento no-capilar como también al movimiento del agua, este suelo casi semejaba una arena. La textura, por lo tanto, llega a ser un factor limitante para el movimiento del agua, sólo en suelos donde está presente una cantidad relativamente pequeña de materia orgánica, como en los suelos agrícolas, o en subsuelos debajo de la profundidad de la materia orgánica acumulada.

Puesto que la materia orgánica es la principal causa de la porosidad no-capilar, esta disminuirá con la profundidad del suelo, porque el contenido de materia orgánica también disminuye con la profundidad. La figura 12 ilus-



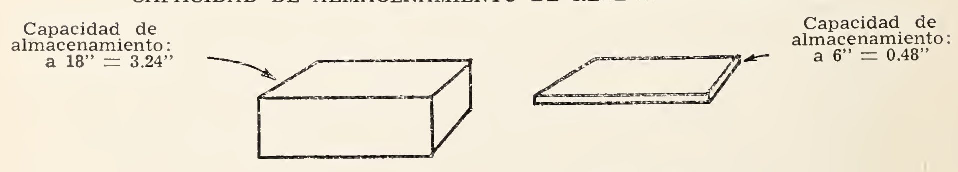


Fig. 12.—Porosidades, profundidades y capacidades del contenido de agua (almacenamiento de retención temporal) comparativas de un bosque y de un suelo agrícola

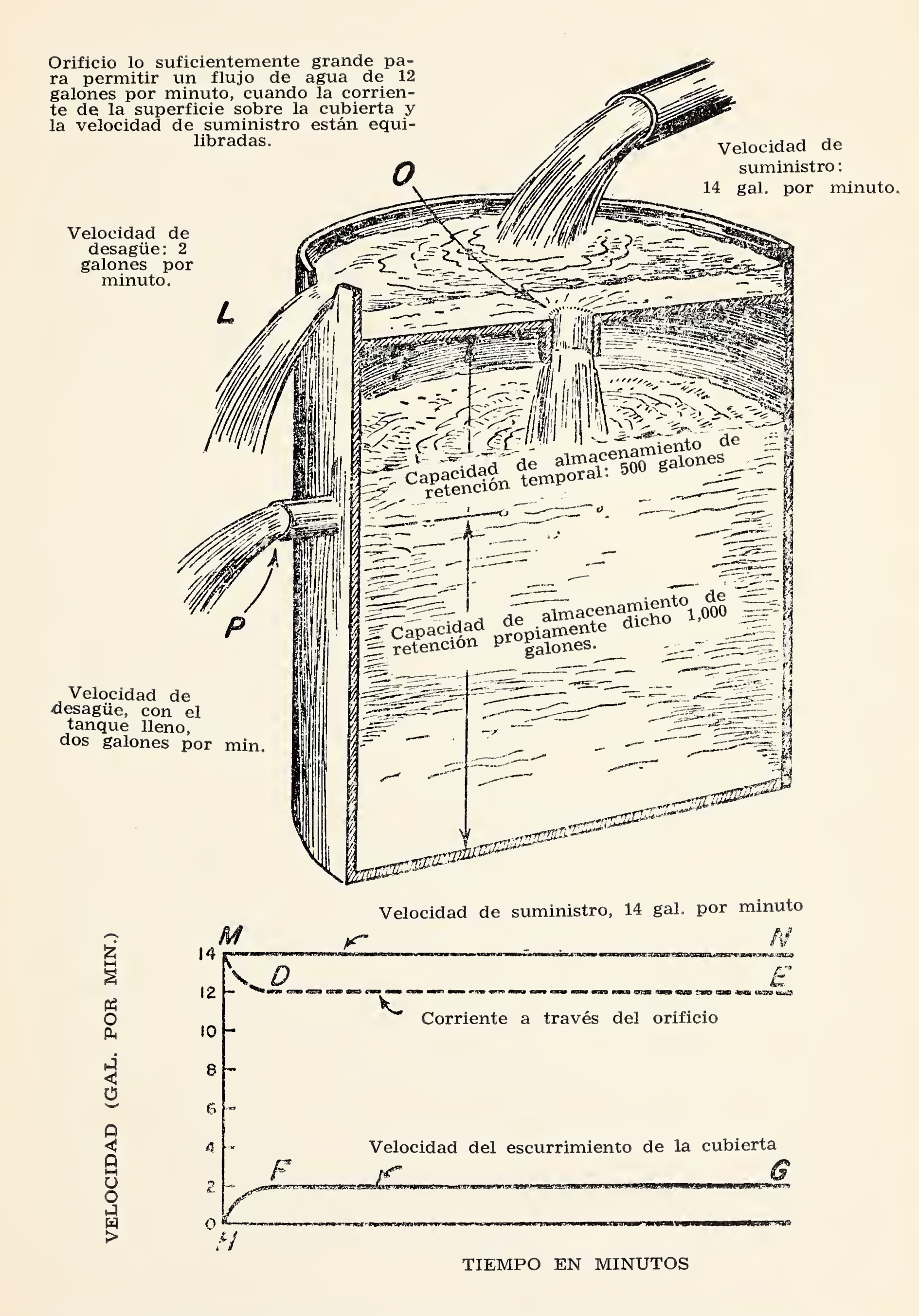


Fig. 13.—Ejemplo mecánico de la infiltración, percolación, almacenamiento y escurrimiento de la superficie

tra las diferencias típicas entre un suelo de bosque y un suelo de un campo abandonado (27). Los espacios de los poros no-capilares disminuyen con la profundidad, en ambos casos. En el suelo correspondiente al bosque, sin embargo, estos espacios permanecen considerablemente más altos que en el suelo agrícola, a 18 pulgadas de profundidad. Debajo de esa profundidad el espacio de los poros es el mismo para ambos suelos. Así, en las 6 pulgadas de encima del suelo del bosque, el espacio de los poros no-capilares corresponde al 30% del volumen total; en las siguientes 12 pulgadas, 12% y en las siguientes 18 pulgadas, 3%. Sin embargo, en el suelo agrícola los espacios de los poros no-capilares fue solamente de 10% en las 2 pulgadas de encima de la profundidad del suelo, y 7% en las siguientes 4 pulgadas. Debajo de las 6 pulgadas y hasta una profundidad total de 36 pulgadas, la porosidad no-capilar fue de 3%. El efecto de la materia orgánica, sobre la porosidad no-capilar, se extiende en el suelo del bosque, a una profundidad 3 veces mayor que en el suelo agrícola, pero como se muestra en la parte más baja de la figura 12, su influencia, en la capacidad de almacenamiento de retención temporal en todas estas profundidades, es todavía mayor.

INFILTRACION Y PERCOLACION

Los poros no capilares representan los caminos del movimiento del agua libre en el suelo. La corriente del subsuelo se mueve lateralmente a través de éstos, y el agua que proviene de la corriente de la base, se mueve hacia abajo, también a través de éstos, en su camino hacia los depósitos subterráneos. En resumen, los poros no-capilares conducen el agua hacia los cauces de la corriente. Los efectos de las condiciones y tratamiento de la cubierta vegetal sobre estos poros, determina en gran parte, como se mueve el agua hacia la corriente —si por la superficie, por el subsuelo, o por la corriente de la base— y qué tan aprisa, como se indica en el hidrógrafo de la corriente de agua.

El movimiento del agua en el suelo puede dividirse en dos procesos, más o menos independientes, infiltración y percolación. La infiltración se refiere a la entrada del agua dentro de media pulgada de suelo de la superficie. La percolación se refiere a la velocidad de la corriente a cualquier nivel más bajo. Ha quedado establecida una diferencia entre infiltración y percolación, a causa de que determinadas fuerzas —como el impacto de la precipitación— que afectan la superficie del suelo, y por consiguiente, las velocidades del movimiento del agua, no operan a niveles más bajos.

La velocidad máxima, a la que el agua puede penetrar en la superficie del suelo, queda definida aquí como la *capacidad de infiltración.* Esta capacidad se determina por la porosidad no-capilar de la superficie del suelo, después que ésta ha sido continuamente humedecida, pero no hasta el punto de saturación. En igualdad de condiciones, mientras mayor sea el volumen y más grande el diámetro de los poros grandes, mayor será la capacidad de infiltración. La capacidad de infiltración se considera extrictamente como un fenómeno de la superficie, y como tal, independiente de otros procesos hidrológicos, los cuales ocurren debajo de la superficie. Como se define aquí no es afectada, ni por la capacidad de percolación, ni por la cantidad de agua en almacenamiento de retención propiamente dicho o en almacenamiento de retención temporal, debajo de la capa de la superficie.

La velocidad a que el agua puede moverse a través de la capa de la superficie, se define aquí como la *capacidad de percolación del suelo.* La capacidad de percolación, por lo tanto, se considera independiente de la capacidad de

infiltración y del almacenamiento del agua en el suelo. Su velocidad depende de la porosidad no capilar de la capa del subsuelo.

Como se indicó antes, la mayor diferencia entre la capacidad de infiltración y la capacidad de percolación es que la primera se determina por la porosidad no-capilar de una delgada capa de la superficie del suelo, mientras que la última se determina por la porosidad no-capilar de la capa del subsuelo. También ha sido señalado, que la capacidad de infiltración opera solamente hasta el punto en que el suelo se satura. Una vez que se alcanza este punto —como después que una lluvia prolongada ha llenado los poros grandes en todas partes de la capa del suelo— la velocidad a la que la lluvia adicional puede penetrar en el suelo, se determina por la velocidad a la que el agua gravitacional puede salir, como corriente del subsuelo y moverse hacia abajo, como filtración profunda. Por lo tanto, no importa que tan alta pueda ser la capacidad de infiltración, una vez que el suelo ha llegado a saturarse, la velocidad a la que la infiltración puede ocurrir nuevamente, corresponderá a la velocidad, o velocidades, a las que el agua fluye hacia abajo o hacia afuera. El propósito de distinguir, entre la capacidad de infiltración y la velocidad de infiltración, es el de separar las condiciones que se describen posteriormente, las cuales determinan la velocidad del agua que penetra dentro del suelo.

Este proceso se ilustra en la figura 13, que representa una interpretación mecánica de los procesos de infiltración, percolación y almacenamiento.

El tanque tiene una capacidad de almacenamiento total de 1,500 galones. Está provisto de un desagüe (P) colocado a 1/3 de la distancia a partir de la parte superior, con una capacidad de descarga de 2 galones por minuto, cuando el tanque está lleno. Una cubierta de acero con reborde y con un orificio (0), cubre la parte de arriba del tanque. Una boca (L) está abierta en el reborde de manera que una pulgada de agua pueda acumularse en la cubierta. El agua se suministra a la superficie de la cubierta a razón de 14 galones por minuto. Antes de que la corriente pueda ocurrir sobre la boca(L) debe formarse una altura de agua de una pulgada arriba de la cubierta. Cuando esto suceda, pasará a través del orificio una descarga de agua de 12 galones por minuto, dejando correr a través de la boca (L), 2 galones por minuto.

La semejanza es como sigue: la velocidad de suministro simula la precipitación, el agua que pasa por la boca (L) es el escurrimiento de la superficie; el agua que entra por el orificio (0) corresponde a la infiltración; y el agua que descarga a través de (P) representa la percolación. Las velocidades de las corrientes se muestran en la parte de abajo de la figura. La línea M-N representa la velocidad de suministro. La velocidad de la corriente que pasa por la boca (L), se muestra por la línea H-F-G, siendo H-F el tiempo requerido para el almacenamiento de agua sobre la cubierta, formado de manera de producir una corriente de agua de dos galones por minuto a través de la boca (L), y doce galones por minuto (capacidad de infiltración) a través del orificio (0). Si no hubiera manera de medir la descarga a través del orificio, ésta podría ser calculada, restando el escurrimiento de la cubierta, de la velocidad de suministro, dando por resultado la línea M-D-E, que representa la velocidad de descarga a través del orificio (0). Sin embargo, al principio la parte M-D de la curva M-D-E representa al mismo tiempo la velocidad de la corriente que pasa a través del orificio, así como la velocidad de almacenamiento de agua sobre la cubierta de la superficie. El agua almacenada en la parte superior del tanque, durante el tiempo M-D, simula el almacenamiento de depresión en la superficie del suelo. (La curva M-D-E representa la corriente a través de (0) solamente hasta el tiempo en que el tanque esté lleno. No se muestra el descenso en la corriente a través de (0) —De 12 galones por minuto a 2 galones por minuto— después de que se llena el tanque.)

El agua que fluye de la cubierta a través de (L), representa el escurrimiento de la superficie. la que entra por (0) representa la infiltración, y el agua que entra inicialmente al tanque para almacenarse, debajo del desagüe (P), representa el agua capilar. El espacio para almacenamiento de mil galones, representa el espacio de almacenamiento de retención, y como en el suelo, ninguna corriente de agua puede fluir a través del desagüe (P) sino hasta que este espacio esté lleno. Tiempo después, la descarga del subsuelo en virtud de la percolación ocurrirá a través del desagüe (P), pero. ya que la capacidad de percolación (2 galones por minuto) es menor que la velocidad de suministro de agua (12 galones por minuto) a través del orificio. continuará almacenándose el agua en el tanque. Este almacenamiento representa al propio almacenamiento de retención temporal, no-capilar. Cuando este almacenamiento temporal está satisfecho, el tanque está lleno, y la corriente a través del orificio (0) se reducirá a la capacidad de 2 galones por minuto de la descarga del subsuelo por el desagüe (P). La corriente de la superficie, a través de (L), entonces aumentará a 12 galones por minuto. La diferencia entre la velocidad de la corriente de la superficie (12 galones por minuto) y la velocidad de suministro (14 galones por minuto), ya no representará la capacidad de infiltración por el orificio, pero sí la velocidad de derrame por el desagüe (P) del subsuelo. En otras palabras, la velocidad de infiltración ya establecida o final, a la cual el agua entra en el tanque es nomás su capacidad de infiltración, porque esta velocidad la determinan las fuerzas que operan debajo de la superficie esto es, la capacidad de percolación.

FACTORES QUE AFECTAN LA INFILTRACION

Puesto que la capacidad de infiltración se determina por el número y tamaño de los poros no capilares en la superficie del suelo, cualquier actividad que afecte estas características, influirá en la capacidad de infiltración.

El tamaño de los poros grandes, puede reducirse obstruyéndolos por medio de partículas más pequeñas o comprimiendo el suelo.

Numerosas pruebas han demostrado que las gotas de agua al caer en un suelo desprovisto de vegetación, destruyen los grumos del suelo. Al desbaratarse se separan en partículas más pequeñas, las cuales se introducen dentro de la superficie del suelo por medio de la infiltración del agua de lluvia. Estas partículas más pequeñas tapan los poros y de este modo reducen su tamaño y su volumen total.

De qué manera la vegetación reduce los efectos del impacto de la precipitación, y así ayuda a mantener la porosidad del suelo, se indica en la tabla número uno. Las diferencias en la porosidad total y no-capilar entre suelos cubiertos por vegetación y desnudos, muestran los efectos del impacto de la lluvia, por ejemplo, la porosidad total del húmus areno-calcáreo, con una cubierta vegetal de cebada, fue de 66.2% y sin la cubierta 58.3%. La diferencia en la porosidad no-capilar fue mucho mayor. 33.5% bajo la cebada, en comparación con 22.1% en suelos desprovistos de vegetación, una reducción de 1/3 aproximadamente. Por otro lado la introducción de partículas pequeñas dentro de los poros grandes, aumentó la porosidad capilar en los suelos desprovistos de vegetación. En este caso aumentó de 28.7 a 36.2%.

Puesto que la vegetación protege al suelo del impacto de la precipitación. manteniendo así la porosidad no capilar de la superficie del mismo, y la facilidad con que el agua penetra en su superficie, habrá considerables diferencias entre las áreas desprovistas de vegetación y las áreas con vegetación, en las profundidades a las cuales penetra el agua. Además, la capacidad de infiltra-

ción de un suelo con cubierta vegetal rala, es posible que aumente, incrementando la densidad de sus plantas. Estas diferencias han sido demostradas. Una lluvia artificial, aplicada con un infiltrómetro a un suelo arcillo-calcáreo, con un 6% de cubierta vegetal de renuevos, penetró a una profundidad de 18 pulgadas, directamente debajo de las plantas, pero solamente a una profundidad de 4 pulgadas abajo en el suelo desnudo.[6] Igualmente, en un suelo de migajón arenoso, con una cubierta vegetal de artemisa, ocupando 37% de la superficie, la penetración de la humedad, debajo de la capa, fue de 6 pulgadas, contra solamente una pulgada en las áreas desprovistas de vegetación.

TABLA No. 1.—EFECTO DE LA CUBIERTA DE PLANTAS SOBRE LA POROSIDAD DEL SUELO [6]

Tipo de Suelo	Tipo de Cubierta	Porosidad Total: Sin Cubierta	Porosidad Total: Con Cubierta	Porosidad No-capilar: Sin Cubierta	Porosidad No-capilar: Con Cubierta	Porosidad Capilar: Sin Cubierta	Porosidad Capilar: Con Cubierta
		Porciento	Porciento	Porciento	Porciento	Porciento	Porciento
	Cebada	58.3	62.2	22.1	33.5	36.2	28.7
Húmus areno-calcáreo	Guisantes	59.2	63.6	21.0	32.3	38.2	31.3
	Veza	65.5	69.2	29.0	39.0	36.5	30.2
Arena cuarzoza	Trébol dulce	45.4	46.0	34.9	43.9	10.5	2.1
Migajón		50.9	58.2	31.9	45.3	19.0	12.9

[6] Estación forestal experimental intermontañosa del servicio forestal de los EE. UU. Registros originales de corrientes infiltrométricas. Cuenca del Lago Sevier. 1940.

La capacidad de infiltración aumentó en los dos suelos con un incremento en la densidad de la cubierta vegetal. En el suelo calcáreo-arcilloso la capacidad de infiltración fue de 1.3 pulgadas por hora, cuando la densidad en la cubierta vegetal era de 6%; con una densidad de 37% la capacidad de infiltración aumentó 2.5 pulgadas por hora. En el suelo de migajón la capacidad de infiltración fue solamente de 0.09 pulgada por hora, con una densidad en su cubierta vegetal de 3%, pero con una densidad de 30% fue de 0.16 pulgalas por hora.

La compresión del suelo es una causa muy general de las capacidades reducidas de infiltración, y por lo tanto motivo de las grandes velocidades de los escurrimientos de la superficie. Cuando un suelo se comprime, su porosidad total disminuye; más aún, la reducción afecta los espacios de los poros no-capilares, más que los capilares. Las pruebas han demostrado que la porosidad total de la pulgada de encima de un suelo de pastizal de migajón arcilloso, con panizo azul, no pastoreado, fue de 58.9%, en contraste con una porosidad total de 32.1%, que se encontró en un pastizal intensamente pastoreado, correspondiente al mismo suelo (1). Casi toda esta diferencia en la porosidad total se debe a la diferencia en los valores de la porosidad no-capilar, principalmente, 33.1% para las superficies no pastoreadas, 6.1% para las áreas intensamente pastoreadas.

Aunque el pastoreo, el pisoteo o el paso de un tractor o un camión, generalmente comprime sólo unas cuantas pulgadas de encima del suelo, en la mayoría de los suelos, esto es suficiente para determinar qué tanta precipitación penetra y qué tanta escurre. En las pruebas sobre pastos mencionadas antes, una precipitación simulada de 1.4 pulgadas por hora, se infiltró dentro de la superficie no comprimida, sin producir ningún escurrimiento en la superficie. En el área comprimida, repetidas las pruebas con el infiltrómetro, con la misma intensidad de la precipitación, dieron unas velocidades de infiltración de 0.41 y 0.28 de pulgadas por hora, con 71 y 80% respectivamente de la precipitación escurriendo por la superficie.

La compresión, efectivamente disminuye las velocidades de infiltración, tanto en los suelos con vegetación, como en los suelos desprovistos de ésta, mientras que el impacto de la precipitación reduce la infiltración solamente en superficies desnudas. La compresión constante y perjudicial de determinadas áreas, se asocia con el tránsito frecuente de maquinaria agrícola, de equipo de transporte, o por el pisoteo ocasionado por concentraciones de ganado, animales de caza mayor o personas. Este daño es tan común, que su efecto sobre el escurrimiento de la superficie es a menudo descuidado.

En las regiones sujetas a heladas y a deshielos, la infiltración y la permeabilidad del suelo pueden afectarse a consecuencia de la formación de determinado tipo de deshielos fácilmente perceptibles. Las mencionadas condiciones se asocian con el tipo, condición o tratamiento de la cubierta vegetal, como se refleja en la compresión de suelos, agotamiento de la materia orgánica de la superficie, o ambas.

PERCOLACION Y ALMACENAMIENTO

Después que el agua se ha infiltrado en el suelo, la velocidad de su movimiento constante, hacia abajo (percolación), depende de la porosidad no-capilar de las diversas capas del mismo, a través de las cuales se infiltra. La permeabilidad de un suelo (o relativa facilidad con la que el agua pasa a su través), puede variar mucho de capa a capa, o permanecer relativamente constante a considerables profundidades. Sin embargo, puede variar, la permeabilidad afecta la distribución de la precipitación para las corrientes de: la superficie, el subsuelo y la base, y la utilización del espacio de almacenamiento.

La capacidad de percolación de un suelo, queda limitada por la última capa permeable, con la que se pone en contacto el agua que se mueve hacia abajo. Si esta capa permite que la atraviese el agua, a una velocidad mayor que con la que penetra al suelo, el movimiento del agua a través del suelo y la utilización del espacio de almacenamiento, se regirá por las condiciones de la superficie que determinan la capacidad de infiltración. Si la capacidad de percolación de la última capa permeable, es menor que la velocidad de infiltración, esta capa puede regir la velocidad a la que el agua penetra en el suelo, lo mismo que el uso del espacio de almacenamiento y por lo tanto la distribución de la precipitación.

La figura 11 muestra los tipos de relaciones entre la percolación, la infiltración y el almacenamiento de retención temporal, que pueden ocurrir bajo determinadas condiciones. Estas curvas representan las respectivas capacidades de almacenamiento de retención temporal acumulativas, de tres suelos, a una profundidad de 30 pulgadas. Aprovechando dicha curva, para trazar la índole de una precipitación de 3 pulgadas a una velocidad de 1 pulgada por hora, después de que quedó satisfecho el almacenamiento de retención, el proceso correspondiente quedará más aclarado.

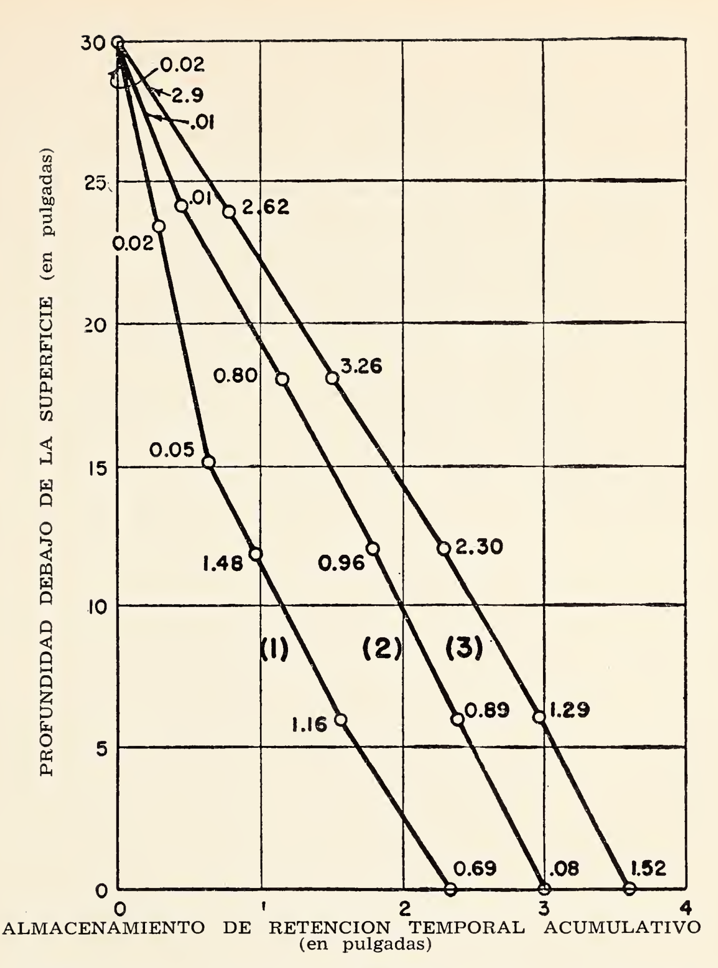


Fig. 14.—Almacenamiento de retención temporal de tres suelos, en relación con la profundidad. Las capacidades de infiltración, a profundidad cero, y las capacidades de percolación, a otras profundidades, se indican en los puntos representados gráficamente

La curva 1, representa un suelo cuya capacidad y almacenamiento de retención temporal es de 2.35 pulgadas, de las cuales 0.65 pulgada queda debajo de las 15 pulgadas de profundidad. La capacidad de percolación a las 15 pulgadas de profundidad y más abajo, es menor que la capacidad de infiltración en la superficie. Basada en la capacidad de infiltración, la cantidad de agua que podría entrar en el suelo, es de 3 x 0.69 pulgadas = a 2.07 pulgadas; el resto de la precipitación, 0.93 pulgada, inmediatamente escurriría en la superficie. Sin embargo, la capacidad de percolación de 0.05 pulgada por hora, al nivel de 15 pulgadas, permitirá el paso de 0.15 pulgadas de agua solamente en un período de 3 horas. Esta cantidad, más 1.70 pulgadas arriba del nivel de 15 pulgadas, o sea un total de 1.85 pulgadas, representan el almacenamiento total disponible para el agua de lluvia. Por lo tanto, 1.15 pulgadas deben disponerse como escurrimiento de la superficie en lugar de 0.93 pulgada esperada, cuando se calculó sobre la base de la capacidad de infiltración sola. Este caso

ilustra de qué manera la capacidad de percolación y el almacenamiento de retención temporal pueden afectar la cantidad de agua que entra en el suelo.

La curva 2 representa un suelo que tiene mayor capacidad de almacenamiento (3"), que la representada por la curva 1, sin embargo, a causa de que su capacidad de infiltración (0.08 pulgada por hora) es menor que la capacidad de percolación a la profundidad de 18 pulgadas y más, aún menos de su capacidad y almacenamiento se usa en comparación con el ejemplo anterior. A una velocidad de 0.08 pulgada por hora, únicamente 0.24 pulgada de lluvia entraría en el suelo durante las tres horas de precipitación. El resto, 2.76 pulgadas escurrirán. Como la capacidad de almacenamiento para este suelo, es de 3 pulgadas, 2.76 pulgadas de este espacio quedarán sin aprovechar.

La curva 3 representa un suelo con alta capacidad de infiltración y grandes capacidades de percolación en toda la profundidad de 30 pulgadas. Como estas capacidades sobrepasan la velocidad de la precipitación, no imponen ninguna limitación sobre las velocidades de entrada y movimiento del agua. Además, como la capacidad de almacenamiento de la capa del suelo es de 3.6 pulgadas, las 3 pulgadas completas de lluvia quedarán retenidas. Por consiguiente no habrá escurrimiento de agua en la superficie.

La comparación precedente, de las diferentes características hidrológicas de 3 suelos, indica la naturaleza e importancia de los procesos que determinan el volumen del escurrimiento en la superficie. En el primer caso, la capacidad de percolación fue el factor limitante; en el segundo la capacidad de infiltración; y en el tercer caso, cada una de las capacidades fue suficiente para permitir el fácil movimiento y la entrada del agua a través del suelo.

Estos ejemplos también demuestran que el aprovechamiento del espacio de almacenamiento, depende de los valores de la infiltración y percolación, en relación a las intensidades de la precipitación. Aunque mucho espacio de almacenamiento puede estar presente en el suelo, éste puede permanecer sin uso a causa de que el agua no pueda moverse dentro de él lo suficientemente rápido. La intensidad de la precipitación es, por lo tanto, un factor importante en la determinación del aprovechamiento del almacenamiento, y también del volumen del escurrimiento de la superficie. Que las 3 pulgadas de lluvia hubieran caído durante un período de 6 horas, el escurrimiento y el uso del almacenamiento, hubieran sido distintos en el caso de los tres primeros suelos. En el caso 1, el aprovechamiento del almacenamiento debajo de la profundidad de 15 pulgadas habría aumentado de 0.15 pulgada a 0.30 pulgada, dejando 0.15 pulgada menos para el escurrimiento de la superficie, o reduciendo su total, de 1.15 a 1.00 pulgada. En el caso 2, la cantidad de agua que entra en el suelo se habría duplicado, de 0.24 pulgada a 0.48 pulgada, reduciendo el escurrimiento de la superficie de 2.76 pulgadas a 2.52 pulgadas.

Si la intensidad inicial de una precipitación es de 0.69 pulgada, por hora, no tendrá lugar ningún escurrimiento en la superficie del suelo, representado por la curva 1, hasta que el almacenamiento no-capilar aprovechable, esté satisfecho. Después de eso hasta una intensidad menor, producirá escurrimiento.

LA PERCOLACION Y EL DESARROLLO DE LA RAIZ

El efecto de la materia orgánica y la formación de grumos sobre la percolación, se indica por su influencia sobre la porosidad no-capilar, como ha sido descrito previamente. El desarrollo de la raíz es otro factor que influye en la percolación. Las raíces pueden contribuir a proporcionar vías para la percolación y el almacenamiento del agua en el subsuelo, por su penetración debajo de la zona de alto contenido orgánico. Lo que se conoce a cerca de

su efecto sobre la hidrología del subsuelo, indica que puede existir la mencionada relación.

El desarrollo de la raíz, incrementó la porosidad no-capilar; al mismo tiempo la porosidad no-capilar facilita el desarrollo de la raíz. Los suelos con una porosidad no-capilar de 5% o menos, son casi impermeables a las raíces. En el suelo del bosque que se ilustra en la figura 12, se supone que las raíces de los árboles penetraron a profundidades donde el volumen de poros no-capilares varió entre 30 y 12%, pero debajo de las 18 pulgadas, donde el espacio de los poros fue de sólo 3%, no se encontraron raíces. En el cuelo agrícola se supone que las raíces se confinaron a las 6 pulgadas de encima, porque la porosidad no-capilar debajo de esta profundidad, fue de 3%.

En suelos compactos la reducción en la porosidad no-capilar, impide el desarrollo de la raíz. Las pruebas indican que las raíces del girasol no penetran en los suelos que han sido comprimidos, a pesos específicos que fluctúan de 1.75 para las arenas a 1.46 — 1.63 para las arcillas (38). El efeeto de un suelo compacto sobre el desarrollo de la raíz, se muestra en la figura 15. El horizonte B del migajón limoso de Butler, en que el zacate triguero del Oeste, se produce estaba tan compacto, que el crecimiento de la raíz quedó en gran parte impedido. Sin embargo, el horizonte C, era menos pesado, permitiendo el crecimiento normal de la raíz.

Lutz (31), tiene citas de investigaciones efectuadas en Europa y en los Estados Unidos que indican que el pisoteo en los parques arbolados, comprime los suelos y mata las raíces. Otro estudio (26a) demuestra que el pastoreo en los bosques redujo el crecimiento de los árboles, tanto como un 50%, probablemente se atribuye esto, en gran parte, a la disminución del desarrollo de la raíz, causada por la compresión.

Todas estas investigaciones confirman que la compresión, no solamente puede reducir las capacidades de infiltración y percolación, por la disminución de la porosidad no-capilar, sino puede también reducir la capacidad de percolación, impidiendo el desarrollo de la raíz.

Ya que el caudal de las raíces ha recibido relativamente poca investigación, es difícil apreciar su efecto en la porosidad no-capilar. Aunque la proporción del material producido por la vegetación, arriba de la tierra, comparado con el producido debajo de la misma, varía considerablemente, las indicaeiones son que las raíces ocupan un considerable volumen. Kittredge (28), utilizando datos de un estudio de Duncan (12) para calcular las proporciones de las raíces superficiales, para plantas jóvenes de árboles de un año en el mismo suelo, cita: árbol de goma, 2.31; cedro rojo del Este, 0.92; encina roja del norte, 0.45; y encina, 0.24. Estos datos muestran que aproximadamente 0.5 a cuatro veces la cantidad de material que se desarrolla arriba de la superficie de la tierra, se desarrolla debajo de la superficie. Estos valores están calculados sobre la base de su peso; sobre una base de volumen la proporción de material debajo de la tierra puede ser aún mayor, ya que parte del volumen está formado por pelos radiculares, los cuales son más livianos que tanto más material leñoso.

Dittmer (10) reportó, que los pelos en las raíces de la cebada, cuadruplican el volumen del suelo, del cual absorben la humedad. Un indicio del volumen de las raíces, también lo prooprciona la longitud de las mismas en una pulgada cúbica del suelo: Avena, 3.5 pies; cebada, 5.0 pies; zacate panizo azul, 30 pies, con superficies externas de 15, 30 y 65 pulgadas cuadradas, respectivamente. La figura 9 también indica el gran volumen de suelo ocupado por las raíces.

Gaiser (17a) encontró recientemente, que las cavidades de las horadaciones de las raíces, en un macizo arbolado de encino y nogal en el Sudeste

de Ohio, penetraron como seis pies, y en número de 4,000, aproximadamente, por acre. Kramer (29), revisando la literatura sobre la concentración de raíces, menciona muchas otras referencias que señalan los grandes volúmenes de éstas. Este volumen, en gran parte, se considera como una importante fuente de espacios de poros no-capilares. Los conductos de las raíces en el suelo, cuando están ocupados por las raíces vivas, son las vías del movimiento de gravitación de la humedad. La muerte y la descomposición de las raíces, y la consiguiente ocupación de sus cavidades por material de la superficie, da a la cavidad de la raíz una porosidad no-capilar mayor que el suelo de su alrededor.

RELACION ENTRE LA PERCOLACION Y LAS CORRIENTES DEL SUBSUELO Y DE LA BASE

Muchas observaciones confirman, que cuando la capacidad de percolación en alguna de las capas, es menor que la velocidad de infiltración, la corriente lateral hacia abajo de la vertiente, tendrá lugar en el suelo arriba de aquella capa. Una prueba, por ejemplo, se dejó correr el agua proveniente de una lluvia artificial, en una vertiente de 20% de pendiente, sobre un suelo con una capa compacta a 28 pulgadas de profundidad. Fue perforado un pozo a una distancia de 15 pies vertiente abajo del lugar en donde se aplicó la lluvia artificial, hasta llegar a la capa compacta. La lluvia se aplicó a la porción de terreno de infiltración, a una velocidad de 3.5 pulgadas por hora, durante un período de una hora cuarenta minutos. La infiltración durante este período promedió 3.2 pulgadas por hora. Cincuenta minutos después de que comenzó la lluvia artificial, escurrió dentro del pozo agua suficiente para llenarlo a casi diez pulgadas de la superficie. Al término de la aplicación de la lluvia, la superficie del agua en el pozo estaba casi a siete pulgadas de la superficie del suelo.[7]

La velocidad y cantidad de la corriente lateral o de la corriente del subsuelo, se determina ampliamente por las características de la porosidad no-capilar del suelo, y por la pendiente hidráulica de la corriente de agua. En algunos suelos, la velocidad de la corriente del subsuelo es tan lenta, que para los fines prácticos no contribuye en nada a la corriente de agua, durante los períodos de escurrimiento abundante, y por lo tanto, no se representa en el hidrógrafo. En otros casos el escurrimiento del subsuelo, es sumamente rápido, y una cantidad apreciable puede alcanzar la corriente de agua, antes que la corriente de todo el cauce, proveniente del escurrimiento de la superficie, haya bajado hacia la corriente de agua.

Como se mencionó antes, el movimeinto del agua del suelo hacia el cauce, es más lento que el escurrimiento de la superficie. Existen diversas razones para considerar esto. En donde tiene lugar el escurrimiento de la superficie, la superficie del suelo tiene a menudo la forma apanalada, con pequeños cauces, riachuelos y depresiones directamente tributarias de los cauces más grandes que llevan el agua continuamente durante los aguaceros o temporales. Es muy frecuente, por lo tanto, que el agua de la superficie tenga que viajar muy lejos —hablando relativamente— antes que alcance alguna corriente. Sin embargo, debajo de la superficie, el movimiento del agua lateralmente, como corriente del subsuelo, o verticalmente hacia el manto de agua permanente, tarda más tiempo para llegar a la corriente. La resistencia para escurrir, a lo largo de una unidad

[7] Datos originales usados en la preparación del Boletín de Extensión No. 39. Efecto del suelo y las condiciones de la cubierta vegetal, sobre las relaciones entre el suelo y el agua 1951. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Estación Experimental de Bosques del Noroeste.

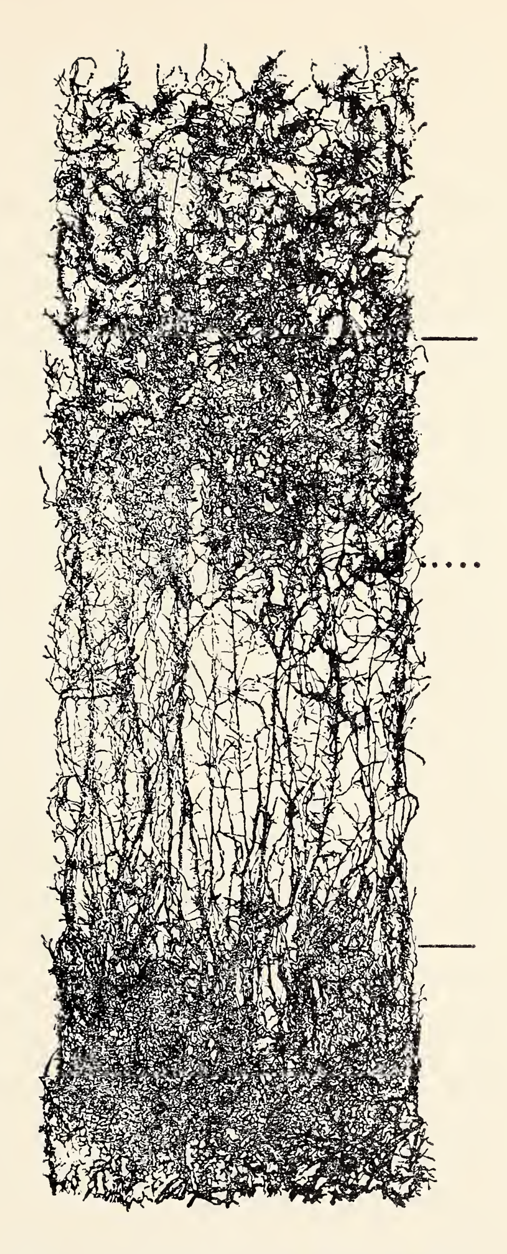


Fig. 15.—Sistema radicular de zacate trignero del Oeste, procedente de un suelo de migajón limoso "Butler" en una cuenca arcillosa, mostrando las grandes diferencias del hábito de la raíz en los 3 horizontes del suelo. Hay menos raíces en el horizonte "A" de superficie (arriba de la línea superior), que es normal en los suelos más maduros. La ramificación en el horizonte "B" (arriba de la línea más baja) es pobre, excepto en el tercio inferior. La ramificación es más pronunciada en el suelo húmedo y maduro del horizonte "C". La línea puntuada indica una profundidad de 20.5 pulgadas.

de longitud en los poros, es generalmente mayor que aquélla de la superficie, porque el contacto con más partículas y con una área mayor de suelo produce una mayor fricción.

Mientras más profundo penetre el agua, más lento es su movimiento hacia los cauces. Toda corriente debajo de los niveles de los arroyuelos o cisuras de las cárcavas, debe continuar en el suelo, hasta que alcanza una capa impermeable, y entonces recorre una distancia más larga antes de alcanzar el lecho de la corriente. En áreas con cárcavas, la corriente lateral puede ser interceptada pronto por una barranca y entonces su movimiento hacia la corriente se acelera.

El almacenamiento de retención temporal, en los poros no-capilares, también proporciona una oportunidad para las filtraciones profundas. Como se indicó en la figura 14, por ejemplo, una filtración honda debajo de la profundidad de 30 pulgadas, es posible en el suelo representado por la curva 1, a la velocidad de percolación de 0.02 pulgada por hora. Un período de almacenamiento de 24 horas permtirá a 0.48 pulgada de agua escurrir hacia el depósito subterráneo. Un período de almacenamiento de 48 horas, no raro, permitirá a 0.96 pulgada de agua seguir hasta filtraciones más profundas. Esta es el agua que se mueve más lentamente. Una vez en el depósito subterráneo puede pasar meses, o quizá años, para que finalmente el agua alcance la corriente.

APLICACION AL MANEJO DE CUENCAS

Toda unidad de tierra, por muy pequeña que sea, forma parte de una cuenca. En consecuencia, la manera como se use la tierra, inevitablemente tendrá alguna influencia sobre la corriente de agua, como ha quedado indicado en la exposición previa, relativa a las relaciones entre la planta, suelo y agua.

Estas relaciones proporcionan un medio racional para evaluar los efectos de determinadas prácticas de manejo de bosques y pastizales sobre la corriente de agua. Interpretando, en debida forma, las condiciones del suelo y la cubierta vegetal, el administrador de tierras puede pronosticar, con mayor seguridad los efectos de: aclareos, cortes de las cosechas, corte y transporte de trozas, pastoreo, reforestación, prescripción de incendios, y otros tratamientos. La aplicación práctica de los conocimientos, respecto a estas relaciones, puede también hacer accesibles algunas posibilidades interesantes de prácticas especiales para alcanzar los fines en el control del agua. Por lo tanto, el conocimiento de que la profundidad de la raíz afecta las cantidades de transpiración y almacenamiento, puede sugerir métodos efectivos para controlar la producción de agua.

El uso científico de la tierra, en su sentido más amplio, no ha sido posible en tanto que la influencia de varias prácticas sobre la corriente de agua —expresadas mediante las relaciones entre la planta, suelo y agua— no hayan sido comprendidas adecuadamente. Estas relaciones proporcionan una base importante para determinar los objetivos y prácticas relativas al manejo de bosques y pastizales en todo el país. Esto es cierto, porque los principios básicos del movimiento y almacenamiento del agua en el suelo, se aplican en todas partes. La vegetación, en cualquier parte que ésta se desarrolle, extrae el agua del suelo y por medio de sus raíces y la materia orgánica, afectan el movimiento y almacenamiento del agua. La corriente de agua, a su vez, en donde quiera que se encuentre, refleja las acciones internas entre el suelo y la vegetación.

INFORMACION BASICA QUE SE REQUIERE

La aplicación de los principios relativos al manejo de cuencas, requiere de una información precisa, referente a las condiciones que afectan las rela-

ciones entre planta, suelo y agua para las cuencas por manejarse. Antes que todo, las amplias diferencias de la región, tales como el clima, deben tomarse en cuenta. Por lo tanto, las heladas en el noroeste, grandes masas de nieve en las montañas del oeste y baja precipitación en el suroeste, representan problemas regionales por tratarse dentro del sistema de los principios básicos. En segundo lugar, se les debe conceder importancia a las variaciones locales de clima, vegetación y características del suelo (incluyendo factores geológicos significativos, entre otros) de las cuencas específicas por atenderse. Sin embargo, debe subrayarse que, precindiendo de las variaciones regionales y locales, las relaciones fundamentales que han sido escritas se aplican en todos los casos.

Se necesitan mayor número de cuencas, de bosques y pastizales para la producción de madera y forraje. Sin embargo, como nuestras necesidades para la conservación y control del agua asumen mayor urgencia, también ha sido necesario incluir el control de inundaciones, producción de agua, o ambas cosas entre los principales objetivos del manejo de las cuencas. Por estas razones, se requerirá una cantidad mínima de antecedentes hidrológicos para la mayoría —si no para todas— de las áreas de bosques y pastizales manejadas.

Los antecedentes básicos pueden ser agrupados convenientemente dentro de 3 categorías principales: (1) agua; (2) suelos; (3) vegetación. Los antecedentes requeridos bajo el punto 1, incluyen la precipitación que recibe la cuenca, y la proporción que de ésta representa la corriente de agua. El conocimiento de las características de la precipitación incluirá tipos e intensidades de la precipitación, y las cantidades que caen en forma de lluvia o nieve. Los antecedentes deberán reunirse sobre la distribución de la corriente de agua durante todo el año, los usos a los cuales se destine el agua, dentro y bajo la cuenca, y los problemas, si los hay, relacionados con la variación y calidad de la corriente.

En la categoría 2, se obtendrá información sobre las características de almacenamiento de los diversos tipos importantes de suelos, especialmente la capacidad para contener el agua, y la profundidad del suelo en relación con la profundidad de la raíz. El conjunto de datos sobre el movimiento estacional de la humedad del suelo, proporcionará una guía esencial para el volumen de almacenamiento disponible, bajo los diferentes tipos de vegetación y tratamientos de la tierra. Se necesitarán los valores de la infiltración y la percolación para determinar la proporción de precipitación que va hacia las corrientes de, la superficie, el subsuelo y la base, respectivamente, así como también el aprovechamiento del espacio de almacenamiento por el movimiento del agua del suelo. Las velocidades de acumulación e incorporación de materia orgánica dentro del suelo, requerirá una observación sistemática. La preparación de planos que indiquen las características hidrológicas pertinentes de los suelos, proporcionarán las "herramientos de trabajo" necesarias para el comportamiento y evaluación de las prácticas de manejo aplicadas a las cuencas afectadas.

Para la categoría tres, se necesitará la información relativa a las profundidades de las raíces de las plantas de varias especies y edades. Un conocimiento de trabajos, relativos a ecología, particularmente con referencia a las características del uso del agua en las diversas etapas de una sucesión de plantas, también es necesario como una base para determinar las posibilidades de influir en la producción del agua, por medio de la manipulación de la cubierta vegetal. Además, las observaciones fenológicas, ayudarán proporcionando las indicaciones útiles sobre el uso del agua estacional por las plantas.

La información apenas bosquejada, es básica para la planificación efectiva de la cuenca, porque permitirá una evaluación de los efectos de las prácticas generales de manejo de bosques y pastizales sobre la corriente de agua. También pueden aprovecharse para ayudar a determinar cuales prácticas con-

vendrán a las necesidades para las condiciones firmes del suelo y la corriente de agua, y que tan intensamente el bosque y los pastizales pueden usarse sin poner en peligro estas condiciones.

Además, no puede insistirse mucho en que los antecedentes relativos al agua, suelo y vegetación deben integrarse antes de que puedan aplicarse efectivamente. Los datos sobre el agua, suelo o vegetación, aisladamente, son de escaso valor práctico. Por ejemplo, los datos relativos a la profundidad del suelo son aprovechables solamente cuando se interpretan en relación con la profundidad de la raíz, y en relación con el almacenamiento total del agua en el suelo, y la oportunidad para el almacenamiento. Dicha integración, inmediatamente revela la extensión a la que el almacenamiento es utilizado por el movimiento del agua en el suelo, y finalmente el consiguiente efecto sobre la corriente de agua.

La cantidad de información básica que se requiere para el manejo científico de una cuenca parece apropiado en relación al tiempo, preparación y facilidades comúnmente disponibles para los administradores de tierras. Sin embargo, deberá tenerse presente que el manejo científico de una cuenca, ahora virtualmente inexistente, no puede ser aprendido o aplicarse inmediatamente. Para algunas áreas bien pueden pasar diez años para obtener la información que se necesita. Mientras tanto, el administrador de tierras puede hacer mucho, fomentando el desarrollo de las condiciones de la cuenca, que contribuirán directamente al manejo científico de la misma. Por ejemplo, puede tanto planear y dirigir las prácticas relativas al manejo de bosques y pastizales, como mantener el máximo de estabilidad posible del suelo. En resumen, el manejo de una cuenca como se concibe en esta publicación implica un cambio en el punto de vista del administrador de la tierra. Una vez que él proyecta su juicio para incluir el suelo y el agua entre los recursos básicos de los que él es responsable, el manejo de la cuenca, puede decirse que se ha iniciado. En la práctica, los tipos e intensidades de prácticas de cuenca, para aplicarse a una determinada unidad de bosque o pastizal, dependerá de las condiciones y problemas locales. Por consiguiente, la consideración siguiente de algunas aplicaciones específicas de las relaciones fundamentales entre la planta, suelo y agua, pueden ser solamente en términos más bien generales. El control de inundaciones, deberá considerarse primero, la producción de agua en segundo lugar, las prácticas correspondientes al manejo de bosques y pastizales en tercer lugar, y finalmente, deberá darse un ejemplo de la aplicación práctica de las medidas sobre el manejo de cuencas.

CONTROL DE INUNDACIONES

Las crecientes pueden dividirse, de un modo general dentro de dos tipos: (1) La inundación o avenida violenta, de altura máxima y corta duración, por lo general consecutiva de una precipitación de tipo convencional, sobre una área relativamente pequeña, y (2) la inundación prolongada, de grandes volúmenes y larga duración, causada por la prolongada precipitación de un temporal de tipo convergente (con frecuencia adicionada con deshielos) la cual, satisface de sobra, la capacidad de almacenamiento de retención de la vegetación y suelos sobre una extensa superficie. Cada uno de los tipos de inundación puede reducirse por medio del manejo de la cuenca.

La inundación violenta, como una regla general, es ocasionada, principalmente por el escurrimiento de la superficie. En consecuencia, el primer propósito es introducir dentro del suelo la mayor cantidad de agua, y por lo tanto dentro del almacenamiento que pueda estar disponible, o dentro de las co-

rrientes, de movimiento lento del subsuelo y de la base. Con motivo de que dichas inundaciones, por lo general acontecen durante el período de desarrollo, tanto, el almacenamiento de retención propiamente dicho, como el almacenamiento de retención temporal, son ordinariamente aprovechables. Las medidas concebidas para incrementar las dos clases de almacenamientos, pueden así conducir a un notable grado de control sobre estas inundaciones. El hecho de que el exceso de agua, generalmente, proviene de una superficie pequeña, se suma a la efectividad de dicho control. A lo largo del Frente Wasatchen, Utah, por ejemplo, las inundaciones de esta naturaleza en seis distintas cuencas, tuvieron lugar sobre 1,315 acres, o sea en solamente el 9.2% del área total correspondiente a 12,868 acres (4).

En vista de que la inundación prolongada, de larga duración, proviene de grandes volúmenes de precipitación o deshielos, sobre una gran área, las posibilidades de su control, por medio del manejo de cuencas, son mucho menores, que en el caso de las inundaciones violentas. Las condiciones de infiltración no son en general tan críticas como en el caso de las inundaciones violentas. Las intensidades de precipitación máximas, son también más bajas. Como en el caso de las inundaciones violentas, el principal objetivo es meter el agua dentro del suelo, pero a causa de que el almacenamiento de retención está ya cubierto, en el caso de las grandes avenidas, el agua puede ir solamente hacia el almacenamiento de retención temporal. En estas condiciones el beneficio principal correspondiente a las prácticas de manejo de cuencas, se lleva a cabo por medio del incremento de almacenamiento de retención temporal, logrando así una reducción en las corrientes abundantes.

Ya que el principal objetivo en el planeamiento para reducir las inundaciones de cualquiera de los dos tipos, es facilitar la entrada de la precipitación dentro del suelo, la capacidad de infiltración es el principal factor limitante. Como la capacidad de infiltración depende de la porosidad no-capilar de la superficie del suelo, cualquiera de las prácticas de manejo de bosques —o pastizales— que modifiquen los espacios de los poros de la superficie, ejercerán una influencia directa sobre la infiltración.

Dos preguntas deben considerarse en la evaluación de las prácticas relativas al manejo de tierras. Primero, ¿descubren el suelo al impacto de la lluvia?. Segundo ¿comprimen el suelo a un límite apreciable?. La exposición y compresión del suelo afectan directamente la porosidad no-capilar de la superficie del suelo, y por lo tanto su capacidad de infiltración. Por estas razones, el suelo debe protegerse de dichas perturbaciones —y al máximo límite posible—. Esto se aplica especialmente a las áreas en las cuales el control de inundaciones es de ingente necesidad.

La infiltración se afecta también por aquellos factores del subsuelo que determinan las velocidades de la entrada del agua dentro de la superficie del suelo. Es, por lo tanto, importante, saber si la velocidad constante a la que el agua entra en el suelo se rige por las condiciones de la superficie o del subsuelo. Con el objeto de juzgar qué medidas se necesitan para aumentar las velocidades del movimiento del agua, es necesario saber, si la velocidad refleja la *capacidad* de infiltración de la media pulgada de encima del suelo, o una *velocidad* de infiltración determinada por la capacidad de percolación de algún nivel más profundo. Así, la diferencia explicada antes, entre la capacidad de infiltración y la velocidad de infiltración no tiene más que una importancia académica.

El almacenamiento del agua en el suelo es un segundo factor limitante, altamente importante, en el control de inundaciones. Los administradores de bosques y pastizales, deben, en consecuencia, dirigirse hacia el sostenimiento del máximo espacio de almacenamiento para la precipitación, que de otra

manera, podría originar. o agravar las condiciones de inundación. Aunque éste no es un concepto completamente nuevo, se necesita que se le dé importancia. porque hasta ahora el valor del control de inundaciones, de abundantes cubiertas de bosques. y bien atendidas cubiertas de pastizales, se tiene en buen concepto. principalmenten términos de la máxima capacidad de infiltración y estabilidad del suelo.

La proporción de la precipitación que pueden contener los depósitos del suelo. depende de diversos factores. Uno, de la mayor importancia. es la profundidad del suelo, por esto en gran manera determina cuanto puede lograrse respecto del incremento en el almacenamiento.

CONTROL DE INUNDACIONES EN SUELOS POCO PROFUNDOS

Como principio de cuentas, las posibilidades de incrementar el espacio de almacenamiento de retención en suelos poco profundos, parecerían insignificantes. Pero el hecho de que este almacenamiento se limita a dichas áreas, indica, que los pequeños incrementos en almacenamiento pueden alcanzar relativamente una mayor cantidad. Uno de los métodos más obvios consiste en fomentar el máximo posible de desarrollo de la vegetación. Aunque al mencionado desarrollo en suelos poco profundos no incrementará de inmediato la profundidad en donde tendrá lugar el almacenamiento. tendrá dos efectos benéficos. Primero, una cubierta vegetal, cuyas raíces ocupen totalmente el suelo. mantiene la oportunidad de almacenamientos de retención al máximo, reduciendo así el volumen de agua que puede ir dentro de la corriente de agua de una inundación violenta. Segundo, la vegetación protege al suelo contra el impacto de la precipitación y mantiene, en un nivel relativamente alto. las capacidades de infiltración y percolación.

Estas relaciones proporcionan además evidencia de que el estímulo del máximo desarrollo vegetal. será un objetivo clave en el manejo de las áreas de suelos pocos profundos que son el origen de inundaciones.

Algunos mantos de suelos profundos. en áreas causas de inundaciones, tienen capas de subsuelo poco profundas. impermeables a las raíces de la vegetación que se encuentra. Estos suelos se comportan, para todos los fines prácticos, como suelos poco profundos. Sin embargo, es posible, bajo ciertas circunstancias, aumentar el almacenamiento, estimulando la vegetación que puede penetrar sus subsuelos compactos. Aunque poco se conoce acerca de esta posibilidad. en los Estados Unidos, Russell (35) señala que las raíces de algunas plantas pueden penetrar aún materiales completamente compactos. Entre otros ejemplos. cita el uso del altramuz en Alemania, que penetra en capas rocosas subyacentes de suelos arenosos, y la alfalfa y el trébol dulce en superficies irrigadas, para mejorar el drenaje.

La materia orgánica que se agrega a un suelo poco profundo. por medio de una vegetación bien desarrollada. incrementa el espacio de almacenamiento total. En los mencionados suelos las raíces de casi todas las plantas. penetrarán a la capa impermeable. En consecuencia, el almacenamiento se limita a la zona entre la superficie del suelo y la capa impermeable. Son ejemplos. el suelo de Volusia, en el Estado de Nueva York. con una capa impermeable de 18 a 24 pulgadas debajo de la superficie. y los suelos de Toledo y sus cercanías en los Estados de los Lagos. Hasta un pequeño incremento en la capacidad de almacenamiento. por medio de la adición e incorporación de materia orgánica, puede afectar significativamente el escurrimiento de agua en dichos suelos.

Este efecto se logra. en gran manera. por la acción de la materia orgánica que facilita el fenómeno de agregación, y así incrementando el almacenamiento

de retención temporal del agua. El mantenimiento de una máxima cubierta vegetal. ofrece una posibilidad prominente a este respecto. El almacenamiento de retención temporal adicional. es especialmente valioso durante las estaciones lluviosas, cuando el espacio de almacenamiento de retención está ocupado, dejando solamente el almacenamiento de retención temporal, disponible para la precipitación que puede causar inundaciones.

Es probable que la mayor parte de las áreas de bosques y pastizales, no tienen ahora la cantidad máxima de materia orgánica que puede obtener, a causa de los incendios. talas inmoderadas, sobre pastoreo y otras condiciones que han agotado la cubierta vegetal.

Por lo tanto es razonable suponer, que el contenido de materia orgánica del suelo puede elevarse y correspondientemente incrementarse su profundidad.

Billings (6), demostró que un incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, durante el desarrollo de un macizo de pino. en un antiguo campo, estaba acompañado de un incremento en la capacidad de almacenamiento de las 2 pulgadas de encima del suelo. Anterior al establecimiento del macizo, la capacidad de almacenamiento era de 33.7% por volumen. Cuando el lugar tenía 21 años de establecido la capacidad aumentó a 42.4%. Después de eso la capacidad permaneció regularmente constante, alcanzando un valor de 45.3% durante 110 años.

Sin embargo, el incremento en el contenido de materia orgánica, no continuará indefinidamente. Como señala Nikiforoff (32) el contenido de materia orgánica de un suelo se vigoriza hasta un punto en que la velocidad de producción de materia orgánica, está equilibrada con su velocidad de descomposición. Tiempo después no tendrá lugar ninguna acumulación adicional. y queda establecido el equilibrio. Es dudoso. que el mencionado equilibrio se logre siempre en la mayor parte de las áreas de bosques. o si lo fuere, mantenerlo por todo el tiempo, porque los incendios, talas y desmontes tenderán a conservar el contenido de materia orgánica debajo del nivel de equilibrio.

La capacidad de almacenamiento del suelo. también puede afectarse por el cambio en el tipo de cubierta de bosque. Estudios practicados en los bosques de Harvard (18) indican cómo acontece esto durante las etapas de vegetación sucesivas, desde campos abandonados hasta macizos de pino blanco y madera dura. Cuando el antiguo campo cubierto con pino blanco se desarrolló, tuvo lugar la formación de la capa humífera de bosque llamada Mor (8). Esta alcanzó un máximo de profundidad de 2 pulgadas durante 60 años. Después de que el macizo fue cortado completamente (a los 80 años). la vegetación de madera dura invadió el área. Durante los primeros 10 años, la capa humífera de tipo Mor se descompuso a menos de una pulgada, mientras que la materia orgánica se incorporó dentro de la materia mineral (como Mull), a una profundidad de 4 pulgadas. Al paso del tiempo, la capa unífera llamada Mull alcanzó un promedio de casi 6 pulgadas, y de ahí en adelante permaneció casi con el mismo grosor, aunque la profundidad de incorporación varió con las especies vegetales.

Las pruebas de penetración del suelo durante la etapa con pino, demostraron que cuando el arbolado se hizo más viejo, el suelo se hizo más compacto. La estructura del suelo se modificó muy poco a pesar del tiempo, permaneciendo o granular o blando, con alguna tendencia hacia la estructura columnar a medida que pasaron los años. Pero cuando los árboles de madera dura ocuparon el suelo lo aflojaron y lo desmenuzaron. Las extructuras granular y columnar

---

[8] Tipos de capas humíferas de bosques: Mor, material orgánico no incorporado generalmente compacto o enzarzado, o ambas cosas, distintamente separado del suelo mineral, a no ser que el último haya sido ennegrenecido por el depósito de materia orgánica. Mull, materia orgnica y mineral, tan mezclado, que la transición a la capa subyacente no está bien definida.

se cambiaron a una extructura blanda y desmenuzada. Según Fenton (14) el cambio hacia una condición "Mull", puede obtenerse mediante frecuentes aclareos y dejando las ramas verdes sobre la tierra. Esto conduce a la formación de un tipo de húmus más deseable, y por consiguiente en un incremento en la capacidad de almacenamiento.

CONTROL DE INUNDACIONES EN SUELOS PROFUNDOS

El espacio de almacenamiento de los suelos profundos, puede incrementarse de la misma manera que el de los suelos superficiales. Pero existen oportunidades adicionales para incrementar su efectividad en el control de inundaciones, principalmente por medio de un desarrollo favorable de la vegetación con raíces profundas. Como quedó establecido anteriormente, la humedad del suelo se extrae a la profundidad del sistema radicular, tanto, que, si las plantas con raíces superficiales son sustituidas con plantas de raíces profundas, el espacio de almacenamiento aumentará.

Las posibilidades prácticas para la aplicación de este principio, tienen que estudiarse todavía. Deben tomarse en cuenta dos limitaciones. Primero, el suelo debe ser lo suficiente profundo y contar con determinadas propiedades físicas, que permitan el establecimiento o fomento de plantas con raíces más profundas que aquéllas de la cubierta vegetal que se encuentra. Segundo, la conservación contínua de un tipo de cubierta de plantas, que reemplaza a otra, puede necesitar no poco esfuerzo para impedir el regreso de la vegetación anterior, o la invasión de otra vegetación que mejor se adapte a las condiciones del lugar.

Por lo que al control de inundaciones se refiere, la conservación de un sistema radicular bien constituido, parece ser tan importante en los suelos profundos como en los suelos superficiales. De esta manera, la oportunidad para el almacenamiento de retención de la precipitación se conservará al máximo.

El propósito de la conservación del espacio de almacenamiento, se aplica no solamente a los macizos maduros, bien dotados, sino también a las otras etapas de desarrollo del macizo. Por eso, al plantar o resembrar las áreas motivo de inundaciones, se debe procurar el uso de especies de plantas capaces de desarrollar sistemas radiculares lo más profundos posibles. Los efectos de las prácticas de cultivo, aclareos, y cortes de cosechas, en las mencionadas áreas, también deberán evaluarse, desde este punto de vista.

El hecho de que la cubierta del bosque ocupe una área, no indica necesariamente que existe una oportunidad para el almacenamiento del agua. Debe tomarse en cuenta, tanto la condición de la cubierta como la del suelo subyacente. Para ilustrar, el suelo en un bosque con árboles caducifolios, intensamente pastoreado, en la cuenca del río Pee Dee, en Carolina del Norte, era compacto, contenía pequeña cantidad de materia orgánica y una baja capacidad de materia orgánica.[9] En contraste, se desarrolló en una área similar, una capa humífera de 8 pulgadas de profundidad, protegida del pastoreo durante 24 años. Aunque las dos áreas tenían suelos poco profundos y producían frecuentemente escurrimientos abundantes, a causa de que su límite de capacidad de almacenamiento estaba excedido, la capa humífera de 8 pulgadas, correspondiente al área protegida, representó una capacidad de almacenamiento de 2 pulgadas.

---

[9] Lassen Leon, Memorandum sobre incendios (Reporte sobre control de inundaciones, Pee Dee) 1949. Servicio Forestal de los Estados Unidos, Div. de Influencias Forestales.

OPORTUNIDADES PARA INCREMENTAR LA PRODUCCION DE AGUA

La mayor oportunidad, conocida hasta la fecha, para incrementar la producción de agua, radica en la reducción al mínimo de las pérdidas por transpiración, v.g., propiciando el desarrollo de la vegetación con requerimientos relativamente bajos para el agua. Como quedó descrito antes, la cantidad de agua que transpira la vegetación depende primero, de la cantidad disponible, y segundo, de la profundidad del suelo que ocupan las raíces. Ya que la disponibilidad de la humedad es regularmente constante, para cualquier cuenca en cuestión, la cantidad de agua que se transpira, dependerá principalmente de la profundidad de la raíz. Especies de plantas con raíces poco profundas, obviamente emplean menos agua que las especies con raíces profundas, que pueden extraer un mayor suministro de agua. A menor cantidad de agua que se transpira, mayor cantidad de agua queda disponible para la corriente de agua. Por lo tanto, en suelos profundos, la substitución de la vegetación con raíces superficiales por otra con raíces profundas, ofrece una posibilidad para incrementar la producción de agua.

Los experimentos efectuados hace 3 años, por Croft (9) en las Montañas Wasatch, Utah, indicaron que al final de cada período de desarrollo, la evapotranspiración de un macizo con álamos, con un monte bajo herbáceo, extrajo humedad del suelo al grado, que 11 pulgadas de espacio de almacenamiento de retención tuvo que ser surtido de nuevo, antes de que el agua pudiera aprovecharse para la corriente de agua. Las raíces de los álamos se extendieron a 6 piés de profundidad, por lo menos, y las de la cubierta herbácea a 3 4 piés. Bajo la cubierta herbácea, solamente, se proporcionó almacenamiento para 8 pulgadas de agua; al paso que en una área desprovista de vegetación, la evaporación suministró almacenamiento para solamente 3 pulgadas de agua. En consecuencia, la eliminación del arbolado de álamos, solamente ahorró 3 pulgadas de agua para la corriente de agua, mientras que la eliminación de toda la vegetación, incluyendo el álamo, ahorró 8 pulgadas de agua. El mismo estudio, también puso de manifiesto la importancia de conservar la vegetación suficiente para proteger el suelo. La cubierta herbácea compacta, sobre las porciones experimentales de terreno, efectivamente impidió la erosión. En contraposición, las pérdidas excesivas del suelo, tuvieron lugar en donde toda la cubierta vegetal quedó eliminada. Por lo tanto, aunque la producción más alta de agua se obtuvo por medio de la completa eliminación de la vegetación, el costo correspondiente a las pérdidas de suelo, fue prohibitivo. En consecuencia, los que proponen la eliminación de la vegetación, con el fin de incrementar el abastecimiento de agua, no deberán sobrestimar los efectos destructivos sobre los valores del agua, por la adición de sedimentos, así como sobre la productividad de la tierra en sí.

La producción de agua, proveniente de algunas cuencas boscosas, puede incrementarse por medio de un desmonte total de la vegetación, y dejándola sobre las áreas, de manera que las ramas y despojos protejan el suelo contra la erosión. El mencionado tratamiento, en el ya bien conocido experimento efectuado en el Laboratorio Hidrológico de Coweeta, Carolina del Norte (22), produjo un incremento total en el escurrimiento de 17.29 pulgadas de superficie (equivalente al 65%) durante el primer año después de efectuado el desmonte. El incremento de la transpiración en virtud del desarrollo de los brotes o renuevos acontecido, redujo esta cantidad a 3.26 pulgadas durante el segundo año. El subsiguiente corte anual de brotes o renuevos, durante los pasados 7 años, mantuvo el incremento del escurrimiento, que tuvo lugar durante el primer año después del corte. El experimento realizado en Carolina del Norte, ilustra además los resultados de la substitución de la cubierta vegetal con raíces superficiales, con una cubierta con raíces profundas. Siguiente a la eliminación de los árboles,

tomaron posesión del lugar brotes o renuevos y una cubierta vegetal de plantas herbáceas, de raíces más superficiales; menor cantidad de agua se extrajo del suelo, y más fue hacia la corriente de agua.

Aprovechándose de la estrecha relación que existe entre la profundidad de la raíz y la producción de agua, para incrementar los abastecimientos de agua, es posible solamente en el caso de los suelos profundos, ocupados completamente por las raíces vivas. El incremento que se deriva de propiciar el desarrollo de las plantas con raíces poco profundas, equivaldría a la modificación resultante en el almacenamiento, entre la capacidad de campo y los niveles correspondientes al punto de marchitamiento, en todas partes de las profundidades afectadas.

Por otro lado, los suelos superficiales no permiten modificaciones en la producción de agua, por medio de las labores de cultivo. Por ejemplo, un estudio realizado en el Estado de New York acerca de los efectos de la plantación de árboles en campos abandonados, en 3 pequeñas cuencas, mostró que la producción de agua no fue afectada (3). Las superficies, anteriormente estaban ocupadas por vegetación formada por hierbas y arbustos, cuyas raíces se extendían de 18 a 24 pulgadas hasta una capa rocosa dura. Puesto que las raíces de los árboles plantados, no pudieron penetrar la capa rocosa, no se ocupó un volúmen mayor de suelo. Por consiguiente, la producción de agua no se afectó.

La eliminación parcial de la cubierta vegetal, para incrementar la producción de agua tendería a incrementar la evaporación, a causa de que el lugar podría estar más expuesto al sol y al viento. Esta práctica sin embargo, sería efectiva solamente cuando la disminución en la transpiración fuera mayor que el incremento coexistente con la evaporación. Si la cubierta vegetal de la tierra, fuera alterada lo menos posible durante la eliminación del monte bajo, el incremento en la evaporación probablemente no igualaría la disminución en la transpiración. La vegetación y el mantillo, suficiente para mantener la estabilidad del suelo, podrían también prevenir efectivamente los incrementos notables en la evaporación. Con suelos poco profundos dichos incrementos en la evaporación, de tener lugar, serían más significativos, porque solamente una cantidad de agua relativamente pequeña puede ser derivada hacia la corriente de agua, por la reducción de las pérdidas debidas a la transpiración.

El hecho de que el manejo de la cubierta vegetal, en los suelos poco profundos, no puede ser tan efectiva como en los suelos profundos, no elimina lo anterior, por consideración en buscar el incremento del abastecimiento de agua. En las montañas más altas del oeste donde la precipitación viene principalmente en forma de nieve, los cortes intensos en los lugares poblados de coníferas, tales como el pinus contortu, reducirán materialmente la interceptación, y por lo tanto dejando más agua disponible para la corriente de agua (42).

El corte de la vegetación ribereña, representa aún otra posibilidad para incrementar la producción de agua que merece más atención. Puesto que la cantidad de agua que se transpira, depende principalmente de la cantidad de agua disponible, las pérdidas más intensas por la transpiración, tendrán lugar donde las raíces están en continuo contacto con un suministro de agua. Se desprende, que la producción de agua puede incrementarse más efectivamente en las mencionadas áreas. Los experimentos efectuados en Coweeta, demostraron que cortando toda la vegetación maderable ribereña, en una faja que se extienda a una distancia vertical de 15 pies arriba del cauce de la corriente de agua, afectando un 12% del área total de la cuenca, se incrementó la corriente de la base durante el verano, en 12% aproximadamente, conforme la apreciación efectuada por espacio de 10 días en junio (13).

En conclusión, las posibilidades y limitaciones prácticas de lograr el incremento en la producción de agua, deben siempre tomarse en cuenta. Primero, el manejo de la cubierta vegetal, ya sea por medio de la substitución de un

tipo de vegetación por otro o por medio de cortes sucesivos, con el fin de reducir las pérdidas por transpiración, serán por lo general, laboriosas y costosas. Dichas prácticas son factibles principalmente en las áreas donde la escasez de agua es aguda y su valor es alto. Por ejemplo, haciendo lo posible por conservar una cubierta vegetal herbácea con raíces superficiales, que pueda proporcionar estabilidad al suelo, y aun aprovechar poca cantidad de agua, debe afrontarse el problema de impedir la tendencia del medio hacia una cubierta vegetal con raíces profundas. Igualmente, las condiciones favorables de desarrollo, cerca de los cauces de las corrientes de agua podrían convertir la conservación del incremento de abastecimiento de agua en un proceso muy caro, además de la necesidad de prevenir la erosión de las márgenes de las corrientes de agua, después de destruida la cubierta vegetal.

PRACTICAS DE MANEJO DE BOSQUES Y PASTIZALES

El hecho de que las prácticas relativas al manejo de bosques y pastizales, influyen en las relaciones entre la planta, suelo y agua, hace necesario dar más atención a este aspecto, respecto de la producción de maderas y uso de pastizales, como previamente se ha indicado. Por ejemplo, ha sido demostrado que la eliminación de la cubierta vegetal, ya sea por medio del desmonte o el pastoreo, y la selección de especies para siembra o plantación, afectará el almacenamiento y el movimiento del agua en el suelo. Los incendios, también tienen importancia adicional, cuando su aspecto hidrológico se toma en cuenta. Esto indica la conveniencia de incluir los efectos del fuego, sobre las relaciones del suelo y el agua, entre el criterio para determinar los requerimientos para una adecuada protección de una área determinada.

La influencia de estos factores después será resumida. Primero se le ha dado importancia a un efecto mancomunado al uso de los bosques y pastizales, el cual no se debe solo a los cambios de la cubierta vegetal, sino a un efecto físico concomitante: la compresión del suelo.

COMPRESION DEL SUELO

La comprensión del suelo puede definirse como la formación de una masa compacta, apretada y unida de las partículas del suelo, en virtud de una fuerza que se ejerce sobre él mismo. Esta fuerza se representa por un peso cualquiera el de una persona, un camión, un animal, o el impacto de las gotas de la lluvia sobre el suelo desprovisto de vegetación. Por lo tanto, cualquier uso de las áreas de bosques o pastizales, encierra cierto grado de compresión del suelo. Su principal efecto hasta donde interesan las relaciones entre suelo y agua, es la reducción de los intersticios del suelo, correspondientes a un incremento en la densidad del suelo. La reducción de estos espacios se logra principalmente a expensas de los poros no-capilares —aquellos que rigen la capacidad de infiltración.

Los efectos relativos a la compresión del suelo quedan limitados a las pocas pulgadas de encima. La fuerza de compresión es variable, de acuerdo con el tipo de carga. Sobre la base de cargas estáticas, los carneros ejercen una presión en la tierra de casi 30 libras por pulgada cuadrada, el ganado vacuno 50 libras.

[10] Lull, Howard W., Compresión del Suelo. 25 pp. ilus. 1950. (Texto inédito. Servicio Forestal de los Estados Unidos., División de Influencias Forestales).

Los seres humanos, de peso medio, ejercen una presión de 6 a 15 libras, dependiendo del tipo de zapatos que lleven.[10] Los tractores oruga ejercen presiones de 3 a 8 libras por pulgada cuadrada, y los tractores de rodada, de 20 a 28 libras. Las presiones de los camiones, generalmente fluctúan desde 36 libras para las camionetas hasta 85 libras para los vehículos de 5 toneladas. Los remolques gigantes, que llevan las máximas cargas permisibles de trozas, producen presiones que varían desde 85 a 95 libras por pulgada cuadrada. Como es de esperarse, la superficie comprimida por el uso del bosque y los pastizales, varía notablemente. El pastoreo afecta la mayor parte de la superficie que se ocupa, dependiendo el grado de compresión, de la intensidad de su uso. Aldelfer y Robinson (1) en pruebas efectuadas sobre una variedad de pastizales, de migajón arcilloso y migajón arenoso, encontraron que los pesos específicos de la capa del suelo de 0 a 1 pulgada de profundidad varió, desde 1.51 a 1.91 en los lugares intensamente pastoreados, comparado con 1.09 a 1.51 de los suelos sin pastorear, o ligeramente pastoreados. La porosidad, para los dos lugares, varió de 3 a 10% y de 15 a 35%, respectivamente. La compresión quedó mayormente limitada a la pulgada de encima del suelo.

Las operaciones referentes al transporte de trozas, comprimen una proporción más pequeña de las superficies que el ganado al pastorear. Los arrastraderos para trozas, generalmente, cubren solamente como un 10% de una superficie, pero el área ordinaria comprimida, incluyendo los lugares de carga y descarga de trozas, y los senderos o carreteras correspondientes a los arrastraderos, pueden alcanzar hasta el 40% de la superficie total. A la fecha, poco se sabe acerca de los efectos del corte y transporte de trozas sobre la compresión del suelo, las relaciones entre el suelo y el agua, o las corrientes de agua. Su efecto obvio es reducir las velocidades de infiltración mediante el incremento de la densidad del suelo. Free, Lamb y Carleton (17), encontraron que un viaje de un camión para usos agrícolas vacío, o un tractor, aumentaron la densidad de los 2 pulgadas de encima de un suelo de migajón limoso de un peso específico de 1.32 a 1.50. Cuatro viajes con un camión vacío, aumentaron el peso específico de 1.24 a 1.58 (representando una reducción aproximada, de los espacios totales de los poros de 53 a 40%). Los análisis del efecto de una fuerza equivalente sobre la permeabilidad de una muestra de suelo, revelaron que la permeabilidad —conforme al tiempo que empleó en desaparecer una carga hidrostática de 0.4 pulgadas— varió de un minuto, a 192 horas, dependiendo esto del grado de compresión alcanzando. El grado de compresión, a su vez, estuvo ligado a la humedad del suelo ya su contenido de materia orgánica.

La compresión de un lugar está tan estrechamente ligada con el uso productivo de las superficies de los bosques y pastizales, que poco se puede hacer para reducir su efecto sobre las relaciones entre el suelo y el agua. Sin embargo, su influencia sobre estas relaciones, y por lo tanto, sobre la corriente de agua, requiere de más información relativa a los procesos y métodos para aminorar sus efectos perjudiciales. Un aspecto interesante de la compresión del suelo, se refiere a trabajos anteriores de investigación sobre la estrecha correlación entre la densidad de la cubierta vegetal, con las velocidades de la erosión. Es muy posible, que los incrementos significativos en el escurrimiento de la superficie, junto con la reducción en la densidad de las plantas, pueda deberse, tanto a la compresión del suelo, que tuvo lugar durante la operación relativa a la eliminación de las plantas, como a la disminución de la densidad de las plantas en sí.

EFECTOS DE LA TALA DE LOS BOSQUES

El efecto de la tala de los bosques sobre la corriente de agua, dependerá principalmente de la proporción del número total de árboles cortados y de la

profundidad del suelo. La tala comercial incrementará la producción de agua en proporción como se afecte la profundidad de la raíz y como se altere y comprima la superficie del suelo por el corte y acarreo de trozas. Sin embargo, aún en los aclareos, muy raro sería incrementar la producción de agua por una cantidad equivalente a la capacidad de almacenamiento de la profundidad del suelo, anteriormente ocupado por las raíces vivas.

El verdadero incremento se afectará. realmente por la profundidad de la raíz del bosque derribado; esto es, mientras más superficiales sean sus raíces, será menor el efecto sobre la producción de agua. Con la eliminación de la mayor parte de los árboles del bosque, la evaporación podrá incrementarse tanto como también el uso del agua por la vegetación restante sobre la tierra. Ambas cosas, tienden a reducir los efectos de los cortes en la producción de agua.

La compresión del suelo, asociada con el corte y transporte de trozas, aumentará la producción de agua, hasta el punto en que el escurrimiento de la superficie sea incrementado a expensas del almacenamiento del agua en el suelo. Sin embargo, el mencionado incremento no puede, en general considerarse como benéfico, puesto que casi siempre se acompaña por sedimientos, en virtud de la erosión acelerada.

Si a una superficie, a la cual se le practicó un desmonte, se le permite recuperar su cubierta vegetal, como ordinariamente, a menos que se incendie fuerte y repetidamente, o se convierta en tierra de cultivo, es de esprarse una segura reducción en el aumento inicial de la producción de agua. La penetración, cada vez más profunda, de las raíces de nuevo desarrollo en el suelo, incrementará gradualmente el espacio de almacenamiento de retención, y por consiguiente la cantidad de agua disponible para la corriente de agua. A medida que la vegetación se condensa, la insolación y el movimiento del aire se reducirán, con lo cual se aminorará la evaporación, pero esto será más que superado por una mayor transpiración. Finalmente, cuando las raíces recuperan el mismo grado de desarrollo que las del macizo anterior, la corriente de agua volverá otra vez a su anterior volúmen anual. Este proceso puede requerir un número de años —quizá treinta años—, de acuerdo con un estudio efectuado.[11]

También es posible, que una superficie desmontada pueda ser invadida por vegetación con raíces más profundas que las de la vegetación anterior. En tal caso, el desmonte ocasionaría una reducción eventual en la producción de agua.

Las alteraciones graves del suelo producidas por el corte y transporte de trozas u otros factores, pueden alargar considerablemente el período sobre el cual los desmontes afectan la producción de agua. En los mencionados casos, la restauración de las condiciones anteriores de producción de agua, no deben esperarse hasta que la superficie esté completamente reforestada, y la porosidad del suelo también restablecida. En las áreas en donde una erosión severa sigue a su denudación, el almacenamiento del agua en el suelo, puede reducirse en gran parte, tanto por una disminución en el volúmen del suelo y en consecuencia en el espacio total de almacenamiento, como por el desagüe del agua de los depósitos subterráneos por las barrancas o cárcavas.

Las influencias de tipos de desmontes menos drásticos, por ejemplo, entresacas y esquilmos parciales dependerán de la intensidad de las operaciones. Aclareos o entresacas intensas, reducirán el desagüe del agua del suelo más que las entresacas ligeras, pero no proporcionalmente. No se puede esperar un incremento como del doble en la producción de agua en caso de un aclareo que

---

[11] Antecedentes inéditos. Laboratorio Hidrológico de Coweeta. 1950. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Est. Exp. de Bosques del S.E.

elimine como el doble de troncos que otro. Respecto de los aclareos ligeros, puede esperarse que tengan poco o ningún efecto en la producción de agua, ya que los árboles sobrantes pronto estarán en condiciones de aprovechar el agua anteriormente extraída por las raíces de los árboles que se eliminaron. Para que un aclareo sea efectivo, debe producirse la muerte de las raíces dentro de la masa del suelo, el cual tampoco contiene las raíces vivas de la vegetación que queda. Con el tiempo, las raíces nuevas, en desarrollo, penetrarán estas masas de suelo, pero hasta entonces, la producción de agua permanecerá más alta que antes del desmonte.

Siegas parciales, tales como desmontes selectivos o de protección, propenderán a igualar los efectos de aquellos provenientes de los aclareos. Sin embargo, debe considerarse una diferencia: que los aclareos, por definición, se aplican a macizos jóvenes los cuales por lo general, son mucho más capaces de acelerar el desarrollo de sus tallos y raíces después de su abandono, que los macizos más viejos. No solamente existe más humedad aprovechable por los árboles restantes, a causa de la reducida competencia de las raíces, sino que cualquiera masa de suelo, que pueda estar desocupada por las raíces vivas, es invadida dentro de un corto período de tiempo. Por otro lado los cortes parciales, por lo general, se refieren a los árboles más viejos. Excepto para las plantas recién nacidas y los renuevos y vástagos, el macizo remanente no puede responder tan rápidamente a la competencia reducida; de modo que cualquier aumento en la producción de agua proveniente de desmontes, persiste durante un largo tiempo.

Las entresacas y los cortes parciales de las cosechas, ambos reducen la interceptación de la lluvia o de la nieve. Este es factor importante, particularmente en regiones donde tienen lugar intensas nevadas, como han demostrado Wilm y Dunford (42).

A lo largo de las corrientes de agua, donde la competencia por la humedad no es tan severa, los incrementos en la producción de agua, variarán mucho más directamente con la cantidad de la vegetación muerta o defoliada, que en las áreas de las tierras altas. Puesto que la mencionada vegetación tiene acceso a mayor cantidad de agua, que la que necesita por su desarrollo, y por consiguiente transpira a velocidades máximas. Su destrucción tiende a reducir la corriente de transpiración, en proporción directa a la reducción de la cubierta vegetal (área de las hojas).

R E F O R E S T A C I O N

El efecto de la reforestación sobre la producción de agua, dependerá de la cubierta vegetal ya presente, de la profundidad del suelo y de los hábitos de las especies vegetales plantadas o sembradas. Si la superficie, no tiene cubierta vegetal protectora y la proporción del escurrimiento de la superficie es alto, una reforestación satisfactoria reducirá la producción de agua. La infiltración aumentará, menor cantidad de agua formará parte del escurrimiento de la base, y más agua penetrará en el suelo. Parte del agua que entra al suelo, será almacenada para la posterior evaporación o transpiración. Estos procesos disminuirán la cantidad de agua anteriormente disponible para la corriente. La reducción en el rendimiento del agua, puede considerarse como el costo de obtención de una corriente más estable, agua de más alta calidad, proporción de sedimentación más reducida y suelos estables.

La mayoría de los suelos escogidos para siembra o plantación, ya poseen cierto tipo de cubierta vegetal. Los efectos de la reforestación, dependen de la diferencia entre la cantidad de agua que está siendo consumida por la cubierta

vegetal existente y aquélla que será consumida por la cubierta plantada o sembrada. En este caso, otra vez la profundidad del suelo y la profundidad de la raíz, deben tomarse en cuenta. Si el suelo, es poco profundo y ya está completamente ocupado por el desarrollo existente, la reforestación no afectará uniformemente la producción de agua (3). En tales condiciones, la totalidad del agua disponible puede usarse, con o sin, la nueva cubierta vegetal. Las nuevas plantas no podrían extraer abastecimientos de agua adicionales; por el contrario, estas plantas competirían con el desarrollo existente, por el mismo suministro de agua.

Si por otro lado, tenemos un suelo profundo y las plantas nuevas son de raíces más profundas que las especies vegetales que se encuentran ahí, puede esperarse una reducción en la producción de agua. Esto no ocurrirá hasta que las raíces hayan penetrado y ocupado completamente el suelo, a una profundidad más baja que la de la cubierta vegetal original.

INCENDIOS

El efecto del fuego variará de acuerdo a la cantidad de vegetación destruida. Esto a su vez, dependerá de la intensidad y tipo del incendio. Ahora, además, la profundidad del suelo, la prontitud para establecerse el nuevo desarrollo vegetal y las características de sus raíces, determinarán el período y magnitud de los cambios en la producción de agua. Un fuego intenso en un suelo poco profundo, anteriormente sujeto a la evaporación en todas partes de su profundidad, tendrá comparativamente poco efecto en la producción de agua, aunque toda la vegetación sea destruida. Las diferccias se limitarían a los efectos sobre el escurrimiento de la superficie y su interceptación. Por otro lado, los incendios en suelos profundos, ocupados por vegetación con raíces profundas, afectarán la producción de agua a un límite ancho mayor, a causa de los cambios resultantes en la oportunidad del almacenamientot de retención, así como también en la interceptación y el escurrimiento de la superficie. De esta manera, un incencio del follaje por la gran reducción de la transpiración, podría restringir considerablemente la extracción de la humedad del suelo. Un incendio del follaje también reduciría la interceptación. En áreas de intensas nevadas, esto puede ser causa de un incremento considerable en el almacenamiento de la nieve. Sin embargo, las pérdidas por evaporación pueden también aumentar.

Los incendios leves pueden no tener efectos inmediatos, si su vegetación no es dañada en su mayor parte. Sin embargo, frecuentes y repetidos incendios leves, con el tiempo afectarán la profundidad del suelo, la proporción de agua contenida y la capacidad del almacenamiento, impidiendo la acumulación e incorporación de la materia orgánica. En algunos casos la prescripción de incendios (cuya preferencia está aumentando rápidamente como un instrumento de la silvicultura) requiere de repetidos incendios leves. Esta práctica, por la reducción en la capacidad del suelo para retener el agua proveniente de la precipitación, puede conducir a escurrimientos abundantes, a descargas de agua abundantes, más rápidas y más grandes, provenientes de una precipitación intensa. Cuando la prescripción de incendios necesita solamente de una quema, con el propósito de destruir la vegetación indeseable, el daño que se ocasiona al suelo puede ser ligero. Desde el punto de vista del escurrimiento de la superficie, el efecto de dicha quema será temporal, en comparación con los efectos perdurables de las modificaciones en la profundidad de penetración de las raíces, que pueden ocurrir con cambios en el tipo de vegetación. Por estas razones, el uso del fuego, como un instrumento en el manejo de bosques y

pastizales, requieren de cuidadosas consideraciones. Las profundidades de las raíces y del suelo, en el área propuesta, deberán determinarse y sus efectos sobre la producción del agua evaluarse. Naturalmente, a estas consideraciones, debe sumarse el efecto de los incendios sobre la erosión, aspecto que no se ha considerado con detalle en este tratado. Las posibilidades de daños en el suelo y la reducción en la calidad del agua motivada por los incendios, pueden en mucho exceder en importancia a los posibles beneficios en la producción de agua.

PASTOREO

El pastoreo afecta las relaciones entre la planta, suelo y agua en un número de aspectos significativos, dependiendo esto de la intensidad de su uso y del tipo de la cubierta vegetal, entre otros factores. Mientras que los efectos del corte del bosque, dependen grandemente de qué tan rápidamente vuelve el nuevo desarrollo, los efectos del pastoreo dependerán en su mayor parte, del grado en que se utiliza el forraje.

La cantidad de yerbas que se dejan después del pastoreo, regirán el desarrollo y crecimiento de las raíces de las plantas forrajeras. La velocidad de desarrollo de las raíces depende de la disponibilidad de los hidratos de carbono manufacturados por la planta y que no son necesitados de inmediato para el crecimiento principal (35) el sobrepastoreo reduce la producción de hidratos de carbono excedentes. Esos carbohidratos que se producen se necesitan primeramente para reemplazar las partes que han sido consumidas. El crecimiento de la raíz y la disponibilidad del almacenamiento de retención, en efecto, se reducen. Apreciaciones llevadas a cabo en Utah, en tierras semi-áridas de pastos, demuestran que las raíces del zacatón triguero, en una superficie sobre pastoreada, penetraron a una profundidad media máxima de 44 centímetros, en contraste con casi 65 centímetros en áreas protegidas. Con base en los pesos de raíces por unidad de volumen del suelo, el desarrollo de la raíz en un suelo de una superficie no pastoreada, se encontró ser seis veces mayor, que en una superficie intensamente pastoreada (19). Flory y Trussell en un estudio efectuado con zacates forrajeros, encontraron que las raíces de los zacates, grama negro y azul, en Nuevo México, penetraron 4 pies en un suelo pastoreado moderadamente; casi dos pies en el suelo pastoreado intensamente, pero menos de un pie en un pastizal usado muy intensamente (15).

El pastoreo también afecta la infiltración. Como una regla general, la capacidad de infiltración es directamente proporcional a la cantidad de material herbáceo abandonado. Por lo tanto, es posible, que donde los suelos son intensamente pastoreados, sus ya bajas capacidades de almacenamiento pueden ser aprovechadas sólo parcialmente, a causa de que el agua no puede penetrar en el suelo lo suficientemente rápido.

La estrecha correlación de la densidad de la vegetación con la infiltración, permite el establecimiento de las necesidades de protección en los valores de la densidad de la cubierta vegetal, como un medio de regular el uso de la ganadería. Por ejemplo, la investigación practicada en pastizales en grandes altitudes en Utah, y en el Sureste de Idaho, indicaron que por lo menos un 65% de la superficie del suelo debe estar cubierto de plantas o mantillo, con el fin de controlar los escurrimientos de la superficie y mantener la estabilidad del suelo (16). Esta es la densidad de la cubierta vegetal que se necesita para proteger el suelo del impacto de la precipitación, con su correspondiente efecto perjudicial sobre la porosidad no capilar y sobre la capacidad de infiltración,

para producir un sistema radicular que facilite la entrada del agua en el suelo, y para impedir la formación de arroyuelos y riachuelos continuos a través de la superficie del suelo.

El pastoreo de las áreas de bosques, con árboles de hoja caduca, afecta notablemente las relaciones entre el suelo y el agua. El suelo en los bosques deciduos, por lo general carece de la cubierta protectora de zacates u otras plantas herbáceas con su rejilla de finas raíces, que es característica de las áreas de pastizales bien manejadas, y son por lo tanto más sensibles a la compresión. Los experimentos efectuados en el Laboratorio Hidrológico de Coweeta, demostraron que el pastoreo desordenado del bosque por el ganado, redujo la porosidad total de las 2 a 4 pulgadas de profundidad, tanto como un 50% a lo largo de un período de 8 años, durante el cual el ganado lo ocupó solamente en los meses de verano. La permeabilidad del suelo también se redujo 91%.

APLICACION DE LOS PRINCIPIOS

Un conocimiento máximo de las relaciones internas esenciales entre el suelo, la cubierta vegetal y el agua, puede emplearse provechosamente para llevar a cabo los objetivos deseados en el manejo de cuencas. Esto puede ilustrarse por medio de unos cuantos casos supuestos, en los cuales la necesidad para un mayor abastecimiento de agua, exigen prácticas que favorecerían un incremento en la corriente de agua útil.

(1) La principal fuente de precipitación son las nevadas; el suelo es poco profundo, de textura ligera; el desarrollo boscoso está formado de compactas arboledas de coníferas, para uso comercial, de todas las edades. En este caso, el corte de los árboles del bosque con el fin de constituir aberturas que tengan diámetros equivalentes a la altura de los árboles dominantes, reducirían notablemente la interceptación, no obstante deja suficiente sombra para prevenir las pérdidas excesivas por causa de la evaporación.

(2) La principal fuente de precipitación son las nevadas; el suelo es profundo, de textura media; la cubierta vegetal es compacta, formada de álamo, con monte bajo herbácco. La práctica indicada podría consistir en entresacar el álamo intensamente, excepto en las vertientes abatidas por los vientos, en donde cortes más ligeros podrían desearse con el fin de reducir al mínimo las tempestados de nieve, producir la acumulación de nieve y ampliar el período de deshielos.

(3) La precipitación viene en forma de lluvias de invierno y verano, el suelo es profundo, de textura pesada; la superficie ligeramente con vegetación, activamente erosionado. Esta condición requiriría de reforestación por medio de zacates con raíces poco profundas, monte o árboles, el uso de surcado en contorno, y de la aplicación, donde sea necesario de proyectos hidráulicos, con el fin de conservar el suelo e incrementar la percolación. Sin embargo, en los lugares donde las vertientes son muy empinadas y están sujetas a intensas precipitaciones y en donde las capas del subsuelo son compactas, el control de la inestabilidad del suelo pasa a ser la consideración principal, requiriendo el uso de especies vegetales con raíces profundas, con el fin de afianzar el suelo más firmemente e incrementar la capacidad de percolación.

(4) La precipitación está bien distribuida; los suelos son profundos de textura ligera; el desarrollo vegetal consiste de pino de madera dura, de uso comercial. Ahora, el objetivo sería conservar un arbolado predominantemente de madera dura, prefiriendo aquellas especies con raíces más superficiales. Ayudaría a reducir las pérdidas por evaporación un mantillo profundo.

(5) En este caso el macizo boscoso, para uso comercial, está localizado en la zona ribereña, sobre un suelo aluvial; gran cantidad de agua está disponible durante todo el período vegetativo. Aunque la completa eliminación del arbolado del bosque favorecería el máximo incremento en la producción de agua, pueden sugerir medidas menos drásticas otras consideraciones, incluyendo la protección contra la erosión de las márgenes de las corrientes de agua, lo mismo que, la pesca, la vida silvestre (animales y plantas), entidades recreativas, etc. Por estas razones sería preferible reducir intensamente la vegetación, solamente en fajas discontinuas, y substituir las especies vegetales de raíces poco profundas, en donde sea posible. Sería necesario el cuidado en el corte de los productos maderables con el fin de evitar la erosión en las orillas de las corrientes. La mayor parte de las márgenes de las corrientes serán conservadas con sombra, a fin de reducir al mínimo el exceso de evaporación de la superficie del agua, y mantener las temperaturas adecuadas para la vida acuática nativa.

Las ilustraciones dadas anteriormente, ejemplifican algunas de las muchas combinaciones entre los factores que deben tomarse en cuenta, para alcanzar las condiciones favorables de las corrientes de agua, en las áreas de las cuencas. Vale la pena enfatizar, con respecto a esto, que la aplicación de los principios relativos al manejo de cuencas, para las condiciones existentes no exigen necesariamente de cambios drásticos en el uso de la tierra, o de ajustes intensos en las prácticas correspondientes al manejo de los bosques y pastizales, y la vida silvestre, animal y vegetal. También en muchos lugares los requerimientos actuales y previsibles para los suministros de agua, pueden, sin duda quedar satisfechos, adoptando o continuando determinadas prácticas fundamentales que bastarán para conservar un suelo estable y por consiguiente el equilibrio en el medio ambiente entre la planta, el suelo y el agua necesarias para la producción continua de los recursos de los bosques y pastizales. No obstante, en otras áreas, factores de clima, de suelo y de vegetación, pueden ser tales, como para hacer inútiles cualquier esfuerzo que tienda a incrementar el rendimiento en la producción de agua por medio del manejo del desarrollo vegetal.

Lo que es importante, es que el administrador de tierras aumente a sus "valores en uso" un conocimiento sistemático de los servicios hidrológicos que son capaces de proporcionar las distintas porciones de su unidad de tierra cómo y cuándo son éstos proporcionados y hasta qué punto pueden desarrollarse o incrementarse. El administrador de tierras estará en condiciones de predecir con más exactitud los resultados que es posible alcance en cada unidad subordinada, por la modificación de sus prácticas de manejo ordinarias, o por medio de la aplicación de tratamientos especiales para aumentar el valor de la producción de agua de buena calidad.





Precio: 0.30 Dls.